

I. *Ueber thermoelektrische Ströme;*
*von Hrn. G. Magnus*¹⁾.

1. Fast 30 Jahre sind vergangen, seit Thomas Johann Seebeck der Berliner Academie die Entdeckung mittheilte, welche seinen Namen unvergeßlich gemacht hat²⁾. Was seitdem in diesem Gebiete geleistet worden, hat zwar unsere Kenntniss von den thermoelektrischen Erscheinungen erweitert, auch sind dadurch neue Hülfsmittel geschaffen worden, welche es möglich machten die vollständige Analogie zwischen Wärme und Licht nachzuweisen, allein unsere Vorstellungen von der Entstehung der thermoelektrischen Ströme haben seit Seebeck nicht an Klarheit gewonnen.

Es verdient aber dieser Gegenstand, nach meiner Ansicht, ein um so größeres Interesse, als offenbar die Entstehung der thermo-elektrischen Ströme sich in dem nächsten Zusammenhange mit der Entstehung der Elektrizität überhaupt befindet. Wenn auch gegenwärtig der Streit zwischen der sogenannten chemischen und der Contact-Theorie ziemlich ruht, wenn es sogar den Anschein hat, als ob man auch aufser Deutschland die letztere immer mehr als die richtige anerkennt, so ist doch auch diese Theorie so lange lückenhaft als nicht sämmtliche Arten der Erregung dieses, für uns noch so räthselhaften Agens auf einen gemeinsamen Erklärungsgrund zurückgeführt sind. Diefs aber ist gewifs nicht der Fall so lange man noch zweifelhaft ist, ob die thermoelektrischen Erscheinungen auf Wärme-Leitung oder auf Strahlung beruhen, oder welcher anderen Wirkung der Wärme sie ihre Entstehung verdanken. Eine Untersuchung über den Ursprung dieser Ströme liefs daher hoffen, dafs

1) Gelesen in der Academie der Wissenschaften am 20. März 1851.

2) 16. Aug. 1821.

durch sie auch die Theorie der hydroelektrischen Säule eine festere Begründung erhalten werde.

2. Seebeck giebt schon bei der ersten ausführlichen Bekanntmachung seiner Entdeckung ¹⁾ eine Theorie von der Erregung der Elektricität durch Temperaturdifferenz. Er geht dabei von dem Vorgange aus, welcher in einem Bogen stattfindet, der nur aus einem Metalle besteht, indem er sich diesen erst offen und an dem einen Ende erwärmt vorstellt. Seine Erklärung ist aber nicht ganz klar, denn theils beruht sie auf einer Theorie des Contacts, indem die ungleichartige Berührung an den beiden Enden des einen Metalls die Elektricität veranlassen soll, theils und vorzugsweise ist es die Bewegung der Wärme in den Metallen, von welcher die Entstehung des Stroms abgeleitet wird.

3. Bald nach Seebeck's Entdeckung gewann die Theorie, nach welcher die Elektricität der galvanischen Säule nur durch chemische Wirkung hervorgebracht wird, immer mehr Anhänger und diese würdigten die Entstehung der thermoelektrischen Ströme um so weniger einer Beachtung, als diese für ihre Ansicht nicht nur nicht pafsten, sondern sogar den gegründetsten Einwand gegen dieselbe bildeten. Der sogenannten Contacttheorie abhold suchten die wenigen Physiker, welche sich mit den thermoelektrischen Erscheinungen beschäftigten, andere Erklärungen für dieselben, und glaubten diese namentlich in der Fortpflanzung der Wärme zu finden.

Nobili ²⁾ ging so weit zu behaupten, dafs jeder elektrische Strom, gleichviel ob thermoelektrisch oder hydroelektrisch, nur auf einer Bewegung der Wärme beruhe, und dafs die elektrischen Ströme nur Ströme des Wärmestoffs seyen.

4. Becquerel ³⁾ hat nicht die Leitung der Wärme allein, sondern auch die Wärmestrahlung und ausserdem

1) Denkschriften der Berl. Acad. Jahrg. 1822 u. 23 S. 339. Diese Ann. Bd. VI., S. 261.

2) Schweigger. Jahrbuch LIII. 264.

3) *Annales de Chimie et de Physique* XLI. 365.

auch noch das elektrische Leitvermögen der Metalle als die Ursache der Elektricität angesehen. Er sagt in seinem *Traité d'Electricité I. p. 244*: Er werde zeigen, daß das thermoelektrische Vermögen eines jeden Metalls, d. h. die Fähigkeit, die es erlangt, diese oder jene Elektricität, in geringerer oder größerer Menge bei seiner Berührung mit einem anderen Metalle auszusenden, nicht nur von dem Ausstrahlungsvermögen des Metalls abhängt, sondern auch von seiner specifischen Wärme und seinem elektrischen Leitvermögen. Und dann fährt er fort: Obgleich man die Ursachen kennt, welche zusammen die allgemeine Wirkung hervorbringen, so kann man doch, bei dem gegenwärtigen Zustande der Wissenschaft, den Antheil, welche jede derselben hat, nicht bestimmen.

Wenn man aber diesen Antheil nicht anzugeben vermag, so ist man auch nicht im Stande zu wissen, ob überhaupt die Richtung des elektrischen Stromes durch diese Ursachen bedingt werde, und ob sie nicht vielleicht auf einem ganz anderen Verhalten der sich berührenden Körper beruhe. Vielleicht ist es nicht überflüssig hier daran zu erinnern, wie Hr. Becquerel¹⁾ zu dem Schlusse gelangt, daß das thermoelektrische Verhalten der Metalle von dem Ausstrahlungsvermögen abhängig sey. Er findet nämlich, daß Gold, Silber, Zink und auch Kupfer dasselbe thermoelektrische Vermögen besitzen, und sucht nun für welche unter den verschiedenen Eigenschaften der Körper in Bezug auf Wärme diese Metalle sich gleich verhalten. Da man nur für das Ausstrahlungsvermögen keinen Unterschied zwischen denselben bis jetzt beobachtet hat, so glaubt Hr. Becquerel annehmen zu müssen, daß die Stärke und die Richtung des Stromes von dem Ausstrahlungsvermögen für die Wärme abhängt.

5. Der Baron von Wrede¹⁾ hat gestützt auf Versuche, welche er angestellt hat, die Becquerel'sche Vermuthung für richtig erklärt. Er meint, was auch schon Becquerel ausgesprochen hat, daß man annehmen müsse, daß

1) Diese Ann. LV, 175.

bei dem Contact zweier Metalle eine Wärmestrahlung von den einander berührenden Flächen wie in der Luft stattfindet und daß der Unterschied zwischen dem Strahlungsvermögen der Metalle die Richtung und Intensität des Stroms bestimme.

Es scheint mir zweifelhaft, ob man die Ausstrahlung eines Körpers in die Luft gleichsetzen kann mit der, welche in eine andere Metallmasse hinein stattfindet. Indefs sieht Baron Wrede hierin keine Schwierigkeit. Er sagt, das Eisen habe, wie bekannt, die Eigenschaft bei Berührung mit fast allen andern Metallen in niederen Temperaturen positiv zu seyn, in höheren dagegen negativ; es müsse daher das Wärmestrahlungsvermögen desselben bei niederen Temperaturen größer, bei höheren aber kleiner als das aller übrigen Metalle seyn, wenn die thermoelektrischen Eigenschaften der Körper in einem directen Verhältniß zu ihrem Wärmestrahlungsvermögen stehen. Er vergleicht darauf das Wärmestrahlungsvermögen von Eisen und Kupfer, und findet daß das des ersteren, des Eisens, in höherer Temperatur geringer, bei niederer aber größer als das des Kupfers ist, und hält hierdurch die Becquerel'sche Vermuthung für bestätigt.

Ich will hier auf die Methode der Untersuchung nicht weiter eingehen, zu berücksichtigen scheint mir aber, daß Kupfer sowohl als Eisen (und das sind die beiden einzigen Metalle, deren Ausstrahlungsvermögen Bar. Wrede mit einander verglichen hat) wenn sie bis zum Glühen erhitzt werden, sich mit einer Schicht von Oxyd überziehen, und daß daher nicht die Ausstrahlung der Metalle, sondern der Oxyde verglichen worden ist, während die Ausstrahlung von den einander berührenden Flächen, offenbar die der Metalle selbst ist. Denn die Umkehrung des Stromes findet bei der Berührung von Kupfer und Eisen nicht nur statt, wenn dieselben einander berühren, sondern, wie ich mich durch Versuche überzeugt habe, auch wenn sie zusammengelöthet sind, wobei eine Oxydation der Berührungsflächen unmöglich ist. Uebrigens habe ich eine solche Umkehrung bei der Berührung von Eisen und Messing nicht

finden können, weder, wenn diese Metalle zusammenge-
löthet, noch auch, wenn sie nur durch einen andern Draht
fest zusammen gebunden waren. Selbst als ich die Berüh-
rungsstelle durch eine sogenannte Aetherlampe, welche mit-
telst eines Blasebalgs angeblasen wurde, erhitze, trat keine
Umkehrung ein.

6. Um zu untersuchen, ob eine der erwähnten Ansich-
ten für die Erklärung der thermoelektrischen Erscheinun-
gen genüge, oder welche andere man für dieselben zu
Grunde legen müsse, schien es nöthig, dieselben in ihrer
einfachsten Form zu beobachten. Schon Seebeck hat ge-
zeigt, daß man in einem geschlossenen Leiter, der nur aus
einem einzigen Metalle besteht, durch Erwärmung an ge-
eigneten Stellen einen Strom erhalten kann. Es wäre da-
her wohl möglich, daß die Ströme, welche bei Berührung
zweier verschiedener Metalle entstehen, nur die Resultante
der beiden Ströme wären, welche in jedem einzelnen Me-
talle durch die Erwärmung erzeugt werden. Will man da-
her die Gesetze für die Entstehung der durch Berührung
verschiedener Substanzen erzeugten Ströme kennen lernen,
so muß man zunächst die Bedingungen, unter welchen der-
selbe in einem einzigen Leiter entsteht zu erforschen su-
chen. Ich gestehe indess, daß ich eine nicht unbedeutende
Zeit habe verwenden müssen, bis es mir gelungen ist, die
einzelnen Umstände zu sondern, welche bei der Entste-
hung des Stromes in einem einzigen Metalle mitwirken.

7. Zunächst will ich erwähnen, daß hierbei zwei Fälle
ganz zu trennen sind. Man kann nämlich 1) einen Strom
in einem ganz in sich geschlossenen Leiter erzeugen, der
nur aus einem einzigen Metalle besteht oder, wenn man
einen Multiplicator einschalten will, ein so langes Stück
des zu prüfenden Metalls enthält, daß bei Erwärmung der
zu untersuchenden Stelle eine Temperatur-Veränderung
der Enden, wo die Berührung mit den Multiplicator-Drä-
then stattfindet, nicht zu befürchten ist. Und man kann
2) einen Strom erhalten, wenn man zwei Stücke eines und
desselben Metalls mit einander berührt, von denen das eine

wärmer ist als das andere. Die Erfolge sind in diesen beiden Fällen ganz verschieden. Und es ist daher einleuchtend, daß bei Anwendung eines Leiters, der aus zwei Stücken desselben Metalls besteht, die sich nur in einzelnen Punkten berühren und bei denen nicht gerade die Berührungsstelle erwärmt wird, leicht ein gemischtes Resultat erhalten werden kann, was im Beginn dieser Versuche auch häufig begegnete.

Hr. Henrici hat in dem LXXX. Bande dieser Annalen S. 167 eine Abhandlung »über thermoelektrische Erscheinungen an gleichartigen Metallen« bekannt gemacht, in welcher aber diese beiden Fälle nicht hinreichend getrennt sind, und hierauf beruht es ohne Zweifel, daß mehrere von den Angaben des Hrn. Henrici von den von mir gefundenen Resultaten abweichen.

8. Bevor ich zu den Versuchen selbst übergehe, will ich zunächst Einiges über das Galvanometer vorausschicken, das zu denselben benutzt worden ist. Dasselbe enthält eine Doppelnadel, die in so weit astatisch ist, daß sie sich fast senkrecht gegen den magnetischen Meridian stellt. Diefs findet bei recht astatischen Nadeln gewöhnlich statt; denn da beide Nadeln nicht vollkommen in derselben Ebene liegen, und nicht vollkommen gleiche Pole haben, so liegt die Resultante aus den magnetischen Kräften beider Nadeln so, daß sie den Winkel, den diese miteinander machen, nahe halbirt, oder wenn man sich beide Nadeln in einer Ebene liegend vorstellt, so ist die Resultante fast senkrecht gegen diese Ebene. Man kann daher aus der Stellung der Nadeln schon erkennen, in wie weit sie astatisch sind, denn je vollkommner sie es sind, um so mehr stellen sie sich senkrecht gegen den magnetischen Meridian.

Eine besondere Schwierigkeit bei der Construction der Galvanometer bietet der Leitungsdraht. Die Kupferdrähte, die man hier käuflich erhält, sind so magnetisch, daß es nicht möglich ist, die Doppelnadel auf die Mitte der Windungen oder auf den Nullpunkt der Scale einzustellen. Durch Anwendung eines kleinen, etwa $\frac{1}{4}$ Zoll langen Magne-

ten, der aus einem Stück einer Nähnadel bestand und an dem Rande des Galvanometers befestigt war, liefs sich die Nadel zwar auf 0° einstellen, allein die Ausschläge derselben waren dann nach beiden Seiten verschieden. Es wurde deshalb versucht Kupfer anzuwenden das galvanoplastisch niedergeschlagen war. Eine Quantität desselben, die aus einer Fabrik von galvanoplastischen Gegenständen herkam, wurde geschmolzen und in Form eines Cylinders ausgegossen. Als dieser aber einer sehr empfindlichen astatischen Doppelnadel genähert wurde, zeigte er sich noch so stark magnetisch, dafs von dem aus ihm gezogenen Drahte keine bessere Wirkung als von gewöhnlichem Kupferdraht zu erwarten war. Vielleicht wird mit dem galvanoplastisch niedergeschlagenen Kupfer auch etwas Eisen gefällt, wenn solches in der Auflösung vorhanden ist.

Ich habe deshalb Kupfer besonders gereinigt und zwar auf folgende Weise. Eine Auflösung von schwefelsaurem Kupferoxyd wurde mit Ammoniak übersättigt, bis alles Kupferoxyd wieder aufgelöst war. Darauf wurde das gefällte Eisenoxyd abfiltrirt und da das Kupfer sich aus der ammoniakalischen Lösung nicht gut durch den galvanischen Strom fällen läfst, so wurde die Flüssigkeit bis zur Trockne eingedampft, um alles Ammoniak zu entfernen. Das so gereinigte schwefelsaure Kupferoxyd wurde in Wasser gelöst und auf galvanischem Wege niedergeschlagen. Da es nicht gelingen wollte, das Kupfer als eine zusammenhängende Masse auszuscheiden, so mufste es geschmolzen werden. Leider bekommt man dabei immer ein Kupfer, das spröde ist, und sich nicht zu Draht verarbeiten läfst. Erst nachdem dasselbe acht Mal umgeschmolzen war, gelang es endlich Draht daraus zu ziehen.

Dieses Verfahren, das Kupfer zu reinigen, ist ein sehr mühsames und sehr kostbares. Ohne Zweifel ist es möglich reines Silber zu erhalten, das eben so frei von Magnetismus ist wie dieser Draht, und es läfst sich leicht berechnen, dafs dies bedeutend weniger kosten würde als ein gleiches Gewicht von Kupfer, das auf die angegebene

Weise gereinigt ist. Auch würde ich Silber statt Kupfer gewählt haben, wenn ich nicht gewünscht hätte zu erfahren, ob und in wie weit man überhaupt im Stande ist Kupfer darzustellen, das nicht mehr auf die Magnetsnadel wirkt.

Dies ist mir in sofern gelungen als bei dem Galvanometer mit dem erwähnten Kupferdrahte die astatische Nadel sich genau in die Mitte zwischen die Windungen bringen läßt und sich auch immer wieder ganz sicher auf den Nullpunkt der Scale einstellt.

Der Draht ist mit weißer Seide besponnen. Er hat ohne die Seide einen Durchmesser von 0,4 Linien und eine Länge von 70 Fufs. Er ist doppelt aufgewickelt, so dafs, je nachdem man die Enden desselben verbindet, der Strom entweder die ganze Länge nach einander durchläuft oder gleichzeitig durch den doppelten Draht von der halben Länge geht. Bei den folgenden Versuchen ist stets die letztere Combination in Anwendung gekommen.

Der so vorgerichtete Multiplicator war so empfindlich, dafs wenn die beiden dünnen Kupferdrähte, welche zu demselben führten, durch einen anderen dickeren Kupferdraht verbunden wurden, und man die eine Berührungsstelle des dünnen und dicken Drahts zwischen den Fingern hielt, die Nadeln um 90° abwichen. Um eine Schwingung zu vollenden bedurften sie etwa 30 Secunden.

9. Die bei den sogleich zu beschreibenden Versuchen gebrauchten Bezeichnungen für die Richtung des Stromes sind zwar, wie ich glaube, bestimmt genug. Um indess jedes Mißverständniß zu vermeiden, will ich noch folgendes darüber erwähnen. Denkt man sich die beiden Enden eines Galvanometerdrahts mit einem einfachen Element aus Zink, Kupfer und einem feuchten Leiter verbunden, so geht die Richtung des Stroms, nach dem üblichen Sprachgebrauch, vom Kupfer durch den Galvanometerdraht zum Zink; und folglich innerhalb des galvanischen Elements vom Zink zum Kupfer (d. i. in derselben Richtung wie der elektropositive Bestandtheil des feuchten Leiters). Denkt man

sich nun an die Stelle des hydroelektrischen Elements ein thermoelektrisches, etwa aus Antimon und Wismuth, und das Antimon mit dem Ende des Galvanometerdrahts verbunden mit dem früher das Kupfer verbunden war, während das Wismuth mit dem Ende in Verbindung ist, das mit dem Zink verbunden war, so wird bei Erwärmung der Berührungsstelle beider Metalle die Nadel ebenso abgelenkt als vorher durch das hydroelektrische Zink-Kupfer-Element, es geht folglich der Strom durch den Galvanometerdraht vom Antimon zum Wismuth oder wie man zu sagen pflegt mit dem Alphabet von *A* nach *W*. Dahingegen geht der Strom durch die erwärmte Stelle vom Wismuth zum Antimon (d. i. gegen das Alphabet). Dieß muß, wenn keine Verwirrung stattfinden soll, wohl unterschieden werden. Wo in dem Folgenden die Richtung des Stromes angegeben wird, ist immer die Richtung verstanden, in welcher derselbe durch die Berührungstelle hindurchgeht. Demnach geht also der Strom vom Wismuth zum Antimon.

10. Ich wende mich nun zu den Versuchen und zwar zunächst zu denen, welche mit einem festen in sich geschlossenen Leiter angestellt sind. Es wurden für dieselben Drähte angewendet, die einen Durchmesser von 0,4 bis 2 Linien hatten, und deren Länge bei dem geringsten Durchmesser mindestens noch 4 Fufs betrug, diese Länge war erforderlich damit sie stets in solcher Entfernung von den Galvanometerdrähten erwärmt werden konnten, dafs eine Erwärmung der Stellen, wo sie diese berührten nicht zu befürchten war.

11. Es ergab sich bald, dafs die Richtung des Stromes in einem solchen Drahte durch Verschiedenheit in der Härte desselben bedingt werde. Erhitzt man einen Draht, der dadurch hart geworden ist, dafs er mehrere Male durch ein Zieheisen gezogen worden, an einer Stelle so stark, dafs er weich wird, und erwärmt alsdann die Stelle, wo der Uebergang vom harten zum weichen Theile ist, so erhält man einen Strom.

Auch wenn man eine Stelle eines weichen Drahts durch Hämmern härter macht, erhält man einen Strom, aber derselbe ist stets von einer geringeren Intensität als der, welchen man bei gleicher Erwärmung eines Drahts erhält, der durch Ziehen dünner und dadurch härter gemacht und dann an einer Stelle wieder erhitzt ist, um ihn weich zu machen.

12. Es ist einleuchtend, daß wenn es sich darum handelt die Richtung und Intensität solcher Ströme zu ermitteln, man sich hüten muß so starke Erwärmung anzubringen, daß dadurch eine neue Veränderung in der Härte des Drahts veranlaßt werden könnte. Gewöhnlich wurde deshalb bei den folgenden Versuchen nur die Temperatur von 100° C. angewendet. Es wurde dazu ein cylindrisches Gefäß aus Blech benutzt, von 4 Zoll Höhe und 2,5 Zoll im Durchmesser, das mit einem Deckel versehen ist. Durch dieses wurde eine an beiden Enden offene Glasröhre von 0,25 Zoll Durchmesser in horizontaler Richtung gesteckt, und in der Entfernung von 1 Zoll vom Boden mittelst Korke in den zu diesem Zwecke angebrachten beiden Hülsen befestigt. Wurde das so vorgerichtete Gefäß mit Wasser gefüllt, und dies im Kochen erhalten, so nahm der innere Raum der Röhre sehr nahe die Temperatur von 100° C. an. In diese Röhre wurde die zu erwärmende Stelle des Drahts gebracht und dann die beiden offenen Enden derselben mit Stöpseln aus Baumwolle verstopft, um eine Abkühlung durch einen Luftzug zu vermeiden.

Diese Einrichtung gewährte den Vorthail, daß weder Wasser noch ein metallischer Leiter mit dem Drahte in Berührung kam, was wie aus §. 16 hervorgeht, zu vermeiden nöthig ist, wenn man sichere Resultate erhalten will.

13. Ganz besonders nothwendig ist es bei diesen Versuchen, daß die beiden Stellen, wo die Enden des eingeschalteten Drahts mit den Multiplicatordrähten in Berührung sind, genau dieselbe Temperatur haben, da sonst leicht ein Strom durch die Berührung der verschiedenen Metalle entstehen kann. Um diese Gleichheit der Tempe-

ratur zu erlangen, befanden sich zwei Klemmen, welche dazu dienten die Verbindung mit den Multiplicatordrähten herzustellen, ganz nahe bei einander in einem Kasten von Holz, der 6 Zoll lang und ebenso hoch und breit war, und dicht geschlossen werden konnte. Die Enden der Multiplicatordrähte, so wie die des einzuschaltenden Drahts, gelangten in denselben durch Oeffnungen, welche in den Seitenwänden angebracht und so weit waren, daß ein Draht eben hindurchging.

14. Hr. Becquerel ¹⁾ hat zuerst gezeigt, daß wenn man in einem Drahte einen Knoten macht, und eine neben dem Knoten befindliche Stelle des Drahts erwärmt, ein Strom entsteht, der von der erwärmten Stelle zum Knoten geht. Da Hr. Becquerel bei der Erwärmung Rothglühhitze angewendet hat, so war es möglich, daß der Strom in seinen Versuchen davon herrührte, daß die erwärmte Stelle weich geworden war, während der Draht in dem Knoten seine Härte behalten hatte. Es war indess viel wahrscheinlicher, daß ein Strom jedes Mal entstehe, wenn die Berührungsstelle zwischen einem starken und einem schwachen Drahte erwärmt wird. Diefes hat auch Hr. Becquerel aus der von ihm beobachteten Erscheinung gefolgert, wie aus der Erklärung hervorgeht, welche er von dem Entstehen des Stromes giebt. Auch hat man, so viel ich weiß, ganz allgemein denselben Schluss aus dieser Erscheinung gezogen. Ich selbst habe schon kurz nachdem die Beobachtung des Hrn. Becquerel bekannt geworden war, Säulen verfertigen lassen, welche aus dünneren und dickeren Messingdrähten bestanden, die durch schwer schmelzbares Loth mit einander verbunden waren, und bei zwölf Paaren einen ziemlich kräftigen Strom lieferten.

15. In der Ansicht, daß ein Strom entstehe, wenn ein dünnerer und ein dickerer Draht mit einander verbunden sind, wurde ich dadurch noch besonders bestärkt, daß wenn ein Draht, der durch Erwärmen keinen Strom erzeugte,

1) *Annales de Chimie et de Physique* II. Sér. Tome XLI. p. 357.

also überall gleich hart oder gleich weich war, an einer Stelle mit demselben Metalle umgeben wurde, bei Erwärmung einer in der Nähe der Umhüllung befindlichen Stelle jedesmal ein Strom entstand. Um solche Umhüllung leicht anbringen zu können, hatte ich zwei Stücke Messing *ab* und *cd* Fig. 1. Taf. III. von 6 Zoll Länge, die einen halbkreisförmigen Durchschnitt hatten, mit ihren flachen Seiten gut gegen einander abschleifen, und dann in der Mitte der abgeschliffenen Flächen, in der Richtung ihrer Länge mit einer Vertiefung versehen lassen, in welcher der Draht *fg*, der umgeben werden sollte, genau hineinpafste; so dafs, wenn beide Stücke an denselben angelegt waren, sie einen massiven Cylinder von 3,5 Linien Durchmesser um den dünnen Draht bildeten, der selbst nur einen Durchmesser von 0,8 Linien hatte. Die geringste Erwärmung des dünnen Drahts in der Nähe des dickeren Cylinders erzeugt sogleich einen Strom; und zwar war der welcher durch Erwärmung auf der einen Seite des starken Cylinders bei *a* entstand, von entgegengesetzter Richtung als der, welcher durch eine Erwärmung bei *b* hervorgebracht wurde.

16. Es schien indess doch möglich, dafs dieser Strom nicht von der Verschiedenheit der Dicke des Metalls herührte, sondern entweder auf einer verschiedenen Zusammensetzung oder auf einer Verschiedenheit in der Härte des dünneren Drahts und des ihn umgebenden stärkeren Cylinders beruhte. Legt man nämlich auf einen Metallstab *ab* Fig. 2 Taf. III. ein Stück eines andern Metalls *cd*, so dafs diess in seiner ganzen Länge aufliegt, und erwärmt man das hervorstehende Ende des unteren Stabes z. B. bei *g*, so entsteht ein thermoelektrischer Strom, indem die Berührungsstelle bei *c* durch Leitung erwärmt wird. Dieser Strom wird zum gröfsten Theil nur innerhalb des Stabes *cd* und des unter ihm liegenden Theils von *ab* circuliren. Bringt man aber die äufsersten Enden des Stabes *ab* mit einem Galvanometer in Verbindung, so wird ein Zweigstrom durch dieses hindurchgehen. Wenn daher

das Messing des umgebenden Cylinders und des dünnen Drahts in §. 15 nicht von ganz gleicher Beschaffenheit waren, so konnte leicht etwas Aehnliches stattfinden.

17. Um zu untersuchen ob dieß der Fall sey, wurde ein dünner Messingdraht, der 6 Fufs lang war, mit 6 Stücken Drahts, jedes 1 Fufs lang, umgeben, die sämmtlich von dem einen Ende dieses dünneren Drahtes abgeschnitten waren, also gewifs ganz gleiche Beschaffenheit mit demselben hatten. Diese wurden durch eine die Elektricität nicht leitende Substanz, einem leinenen Faden, parallel neben einander fest um den längern dünnen Draht gebunden, so daß sie mit diesem und auch unter einander in metallischer Berührung waren. Als nun der eine oder der andere Theil dieses dünneren Drahts, da wo er aus den übrigen hervorragte, erwärmt wurde, entstand *kein* Strom. Ebenso zeigte sich kein solcher als ein anderer dünner Draht von Messing mit zwanzig Enden von derselben Drahtmasse umgeben wurde.

18. Obgleich hierdurch schon erwiesen war, daß bei vollkommen gleichartigen Substanzen durch eine Verschiedenheit der Durchschnitte ein thermoelektrischer Strom nicht entsteht, so erschien es doch wünschenswerth, dieß noch auf entscheidendere Weise darzuthun. Ich liefs deshalb einen Messingdraht, der 3 Fufs lang war und 3 Linien im Durchmesser hatte, so abdrehen, daß ein Stück von 6 Zoll in der Mitte seiner Länge nur einen Durchmesser von 0,5 Linien behielt. Wurde nun eine von den Stellen *g* Fig. 3 Taf. III, wo die dickere Masse mit der dünneren zusammenhängt, erwärmt, so entstand kein Strom. Ebenso wenig zeigte sich ein solcher, als ich von einem anderen Messingdraht, der gleichfalls einen Durchmesser von 3 Linien hatte, ein Stück von 18 Zoll Länge abdrehen liefs, bis es nur noch einen Durchmesser von 0,7 Linien hatte, und an jedes Ende desselben dann ein Stück desselben Drahts von 3 Linien Durchmesser und 3 Fufs Länge anschraubte. Die geringe Veränderung der Härte, welche durch das Anschneiden der Schrauben entstanden war, erstreckte sich

auf ein zu kurzes Stück, als dafs sie hätte von Einflufs seyn können.

19. Darauf wurde ein Stück eines Messingsdrahts von 3 Linien Durchmesser dünner gezogen, bis daraus ein Draht von 0,5 Linien Durchmesser entstand. Das übriggebliebene dicke Stück und das dünnere wurden beide vollkommen ausgeglüht, von der entstandenen Oxydschicht befreit, und nun mit ihren Enden fest aneinander gelegt und erwärmt. Es entstand kein Strom.

20. Hiernach ist wohl erwiesen, dafs ein Unterschied der Dicke des Metalls allein nicht hinreicht, um durch Erwärmung einen Strom zu erzeugen; denn wenn die beiden Massen von verschiedener Dicke gleiche chemische Beschaffenheit haben und genau von gleicher Härte sind, so entsteht kein Strom. Es konnte daher bei dem in §. 11 erwähnten Versuche des Hrn. Becquerel der Knoten des Platindrahts nur in sofern von Einflufs gewesen seyn, als an der Stelle, wo er sich befand, das Metall nicht bis zum Glühen erhitzt worden war. Man kann sich leicht überzeugen, dafs es sich so verhält, denn macht man in einen Kupfer- oder einen Messing- oder sonst einen Draht einen Knoten und erwärmt eine neben dem Knoten liegende Stelle nicht höher als bis zu 100° C., so entsteht kein Strom, der Draht mag hart oder weich seyn. Erhitzt man aber eine Stelle des harten Drahts bis zum Glühen und erwärmt nach der Abkühlung eine nebenliegende Stelle bis 100° C., so zeigt sich ein Strom, und häufig ist diefs der Fall während des Glühens selbst, indem, wenn die Flamme nicht ganz ruhig ist, sie oft die eine Gränze der harten und weichen Theile mehr erwärmt als die andere.

21. Ueberzieht man einen Draht von Neusilber auf ein Stück seiner Länge mit einer dünnen Schicht von Kupfer, das man galvanoplastisch darauf niederschlägt, und erwärmt darauf den Draht da, wo er aus dem Ueberzuge hervorragt, so entsteht ein ziemlich starker Strom, auch wenn der Niederschlag von Kupfer nur aufserordentlich dünn ist. Dieser Strom kann durch die Berührung der

beiden Metalle hervorgebracht seyn, wie dieß in §. 16 erwähnt ist. Es ist indeß auch möglich, daß der dünne Ueberzug von Kupfer nur in sofern wirkt, als er das Ausstrahlungsvermögen des Neusilbers verändert, so daß eine Verschiedenheit der Wärmestrahlung die Ursache des Stromes ist. Jedenfalls schien es nöthig hierüber Gewißheit zu erhalten. Es wurden deshalb verschiedene Drähte mit andern Ueberzügen versehen, welche die Elektrizität nicht leiten, z. B. mit Kienrufs, mit Guttapercha in dünneren und dickeren Schichten, mit Holz und dergleichen mehr, allein, wenn dann der Draht da, wo der Ueberzug aufhörte, erwärmt wurde, so entstand kein Strom. Ebenso wenig zeigte sich ein solcher, wenn ein Stück eines Drahtes polirt war, während die Oberfläche eines sich daran anschließenden Theils desselben mittelst Schmirgelpapier oder mittelst der Feile rauh gemacht worden war, und man dann die Gränze zwischen diesen beiden Stücken erwärmte.

Es geht hieraus hervor, daß eine Verschiedenheit in der Ausstrahlung der Wärme keinen thermoelektrischen Strom herbeiführen kann.

22. Eine Schicht von Oxyd, welche eipen Theil einer Metallmasse bedeckt, könnte wohl die Erzeugung eines Stromes bedingen, gerade so, wie die dünne Schicht von Kupfer §. 21., indem zwischen dem Oxyd und dem darunter befindlichen Metalle ein Strom entsteht, der sich auf die §. 16. angegebene Weise verzweigt: Deshalb wurden bei allen folgenden Versuchen die Metalle stets von dem Oxyd befreit.

23. Nachdem so die Bedingungen ermittelt waren, unter denen in einer zusammenhängenden Metallmasse ein Strom durch Temperatur-Veränderung entsteht, war es möglich, Versuche zur Bestimmung der Richtung und Intensität des Stromes zu unternehmen. Es eignen sich zu solchen nur diejenigen Metalle, welche sich zu Draht ziehen oder auswalzen lassen, weil sie hierdurch auf eine leichte Weise dichter und härter zu machen sind, während man sie durch Glühhitze immer wieder weich erhalten kann.

Bei den übrigen, namentlich den krystallinischen Metallen, hat man gar kein Mittel eine solche Veränderung vorzunehmen.

In der Richtung der Blätterdurchgänge sind diese Metalle zwar offenbar von anderer Dichtigkeit als senkrecht gegen diese Richtung, und darauf beruhen die schönen Versuche des Hrn. Svanberg (vergl. §. 39), allein diese Verschiedenheit muß vorläufig von der der Härte getrennt bleiben.

Wollte man die Intensität des Stromes, welche unter Anwendung gleicher Temperaturen für die verschiedenen Metalle eintritt, mit einander vergleichen, so müßte man Mittel besitzen, um die Härte derselben bestimmen zu können. Ein solches ist aber nicht vorhanden, denn Vorrichtungen, durch welche man die Ritzbarkeit oder ähnliche Eigenschaften bestimmen kann, möchten hier nicht genügen, da sie nur die Härte der Oberflächen nicht aber der inneren Metallmassen zu vergleichen gestatten. Um aber doch einigermaßen einen Anhaltspunkt für die Unterschiede zu erhalten, welche bei den verschiedenen Metallen stattfinden, wurde auf folgende Weise verfahren.

24. Die verschiedenen Drähte wurden sämmtlich so lange gezogen, bis sie denselben Durchmesser von nahe 0,9 Linien hatten (bis zu No. 48 des Zieheisens dessen ich mich bediente). Darauf wurde jeder einzeln geglüht, und dadurch so vollständig als möglich weich gemacht. Es versteht sich, daß dies Verfahren nur für die Metalle anwendbar ist, welche bei der Glühhitze nicht flüssig werden. Diejenigen aber, welche wie Zinn, Blei, Cadmium, Zink bei niederen Temperaturen schmelzen, wurden in einem Oelbade bis 200° C. während einer Stunde erwärmt, um denselben Zweck zu erreichen. Sodann wurde jeder Draht dünner gezogen, bis er nur den halben Durchmesser 0,45 Linien hatte (No. 70 des Zieheisens). In dem Zustand der Härte, welchen die Drähte hierdurch annahmen, wurden sie zu den Versuchen benutzt, um aber einen Theil derselben weich zu machen, wurde ein Stück von 2 Fufs Länge in einer

Ent-

Entfernung von zwei Fufs von dem einen Ende wieder gehörig erhitzt; bei den schwerer schmelzbaren geschah dies über einer Lampe mit doppeltem Luftzuge; bei den leichter schmelzbaren wurde dies Stück von 2 Fufs in einem Kasten, der sich in einem Oelbade befand, während einer Stunde bei 200° C. erhalten, indem die aus dem Kasten hervorragenden Theile durch Wasser abgekühlt wurden. Von den so vorgerichteten Drähten wurde bald die eine, bald die andere Gränze zwischen dem weichen und harten Theile, auf die oben §. 10. erwähnte Weise, bis 100° C. erwärmt. Der übrige Draht nahm dabei die Temperatur des Zimmers an, welche, während diese Messungen ausgeführt wurden, sehr constant 6° C. war.

25. Die Verschiedenheit des Leitungswiderstandes der verschiedenen Metalle konnte bei diesen Versuchen nicht in Rechnung gebracht werden. Das Mittel welches Hr. Becquerel ¹⁾ angewendet hat, um seine Resultate von dem Leitungswiderstande unabhängig zu machen, indem er alle Drähte an einander löthete und dann die Berührungsstelle zwischen je zweien erwärmte, war hier schon wegen der Länge der Drähte nicht ausführbar. Auch mufs man berücksichtigen, dafs es sich bei der Vergleichung der Intensitäten hier nur um annähernde Resultate handelt, da bei den fehlenden Mitteln die Härte der Metalle zu bestimmen, genaue Messungen überhaupt nicht möglich sind. Ich glaubte deshalb den verschiedenen Leitungswiderstand unberücksichtigt lassen zu können und trug nur Sorge, dafs von allen Drähten die gleiche Länge von 6 Fufs zwischen denselben Galvanometerdrähten eingeschaltet wurde.

26. In der folgenden Tabelle ist bei jedem Metalle die Richtung angegeben, in welcher der Strom durch die erwärmte Berührungsstelle zwischen dem harten und weichen Theile des Drahtes ging, sowie die Ablenkungen der Nadel, welche derselbe hervorbrachte.

Die Ablenkungen welche entstanden, indem erst die eine, dann die andere Gränze zwischen dem harten und

1) *Annales de Chimie et de Physiques* Tome *XLI*. p. 362.

Poggendorff's *Annal.* Bd. *LXXXIII*.

weichen Theile des Drahtes erwärmt wurden, waren zwar nicht genau gleich, allein die Verschiedenheiten betrugen nicht leicht mehr als 1 bis 2 Grad. Die angeführten Zahlen sind die Mittel aus diesen Ablenkungen.

Name des Metalls.	Richtung des Stroms.	Ablenkung.
Messing	vom weichen zum harten	55°
Silber (fein) ¹⁾	„ „	46
Stahl	„ „	45
Silber mit 25 Proc. Kupfer	„ „	40
Cadmium	„ „	25
Kupfer	„ „	18
Gold No. 1 mit 9,7 Proc. Kupfer ²⁾	„ „	10
Platin	„ „	5
Gold No. 2 mit 2,1 Proc. Silber ³⁾	„ „	2
Neusilber	vom harten zum weichen	34
Zink	„ „	30
Zinn	„ „	5
Eisen	„ „	4
Blei	ungewiß	0

27. Die angewandten Metalle waren nicht besonders gereinigt.

Beim Blei konnte kein Strom wahrgenommen werden, es fand eine geringe Bewegung der Nadel statt, die sich höchstens bis 0,5° erstreckte, allein sie war nicht sicher genug, um einen Schluß auf die Richtung des Stroms machen zu können.

28. Die Zahlen bei den übrigen Metallen beziehen sich übrigens nur auf die angewandten Drähte. Einige derselben würden, wenn sie noch dünner gezogen wären, oder wenn sie einen noch höheren Grad von Härte erlangt hätten, andere Werthe geliefert haben. Besonders gilt dies für das Eisen und den Stahl, die man überhaupt nicht leicht von gleichmäßiger Härte erhalten kann. Beim Stahl

1) Das feine Silber enthält 0,87 Proc. Kupfer.

2) Das Gold No. 1 war aus Preussischen Friedrichsd'or erhalten, die 21 Karath 8 Grän Feingehalt haben. Die übrigen 2 Karath 4 Grän sind Kupfer, das aber etwas Silber enthält.

3) Das Gold No. 2 war aus holländischen Ducaten erhalten, die 23 Karath 6 Grän Feingehalt haben. Die übrigen 6 Grän sind Silber, das aber Kupfer enthält.

geht der Strom vom weichen zum harten Theil, beim Eisen aber in entgegengesetzter Richtung.

Da es Stahl giebt, der in seinem Verhalten dem Eisen sehr ähnlich ist, so kommen auch Stahlsorten vor, bei denen der Strom vom harten zum weichen Metalle geht; so z. B. bei einem hier käuflichen Claviersaiten-Draht aus deutschem Stahl; und es wäre auch möglich, dafs Eisensorten vorkommen, bei welchen der Strom vom weichen zum harten Metall geht. Bei den von mir untersuchten Eisendrähten war die Richtung immer von hart zu weich, allein die Ablenkungen der Nadel waren meist viel bedeutender als die eine, in §. 26 angeführte, und erstreckten sich bis zu 25° .

Auch bei den einzelnen Sorten von Kupfer kommen oft sehr grofse Verschiedenheiten vor.

29. Wiewohl die Ablenkungen, welche diese Drähte liefern, schon ziemlich bedeutend sind, so habe ich doch versucht die Wirkung noch zu verstärken, indem ich eine Art von Säule aus einem einzigen Drahte construirte.

Glüht man nämlich von einem harten Drahte mehrere Stellen alle von gleicher Länge, etwa 6 Zoll, indem man zwischen ihnen immer Stellen von derselben Länge hart läfst, und windet den Draht sodann auf einen Rahmen, dessen Umfang gleich ist der Summe der Länge eines geglähten und eines ungeglühten Stücks, so liegen die Gränzen zwischen den harten und weichen Stücken in einer Ebene. Man kann für einen solchen Rahmen ein einfaches Brettchen von oblongischer Form benutzen, Fig. 4 Taf. III., auf welches der Draht so aufgewickelt wird, dafs die einzelnen Windungen von einander getrennt bleiben, zu welchem Zweck das Brettchen auf den Kanten seiner schmalen Seiten mit Einschnitten versehen seyn mufs. Am zweckmässigsten ist es, die Uebergänge von weich zu hart auf diese beiden Kanten *ab* und *cd* zu bringen. Um aber diese Uebergänge besser erwärmen zu können, bediente ich mich der Rahmen, die aus zwei Brettchen bestehen, welche sich kreuzen, Fig. 5 Taf. III., und wickelte den Draht so, dafs die Gränzen zwischen den harten und weichen

Stücken in die Mitte der kurzen Seite des oblongischen Rahmens bei *fg* und *i* fielen. Eine solche Säule aus Messingdraht ist so empfindlich, daß wenn man nur drei oder vier Paare dadurch erwärmt, daß man sie zwischen die Finger nimmt, so weicht die Nadel des oben §. 8 beschriebenen Galvanometers um 90° ab.

Wenn man die geglühten Stellen des Drahtes gehörig abputzt, so sieht derselbe ganz gleichförmig aus, und man wird deshalb überrascht von der Ablenkung. Man könnte diese Säulen, da sie nur ein Metall enthalten, Monothermosäulen nennen, oder, um den Namen abzukürzen, Monosäulen.

30. Die zweite von den oben §. 7 erwähnten Arten, einen Strom durch ein einziges Metall zu erhalten, ist auch schon von Seebeck beobachtet und untersucht worden, doch hat auch er sie nicht getrennt von der so eben erwähnten Entstehung des Stroms bei vorhandenen Ungleichheiten in der Structur eines fest in sich geschlossenen Leiters. In §. 45 seiner oben erwähnten, in den Schriften der Berliner Akademie für 1822 und 1823 enthaltenen Abhandlung ¹⁾ heist es:

»Die magnetische Polarität wurde in den einfachen Metallkreisen am stärksten gefunden, wenn ein Theil derselben sich im fließenden und glühenden Zustande befand, und wenn die Enden des die Bussole umschließenden gleichartigen Metallbogens wechselsweise in den fließenden Theil eingetaucht wurden; oder wenn das eine Ende eines nicht oxydirbaren Metallbogens glühend mit dem andern kalten Ende desselben in Berührung gebracht wurde.«

Die Anwendung der Glühbitze läßt aber keinen Zweifel darüber, daß bei diesen Versuchen beide, sowohl die Verschiedenheit der Härte als auch die Verschiedenheit der Temperatur der sich berührenden Stellen wirksam gewesen. Auch beschäftigt sich Seebeck in dem folgenden §. seiner Abhandlung mit dem Strom, welcher in einem geschlossenen Ringe von Antimon oder Wismuth entsteht, und

1) Auch in diesen Ann. Bd. IV. S. 253.

zeigt darin, worüber später auch Sturgeon ¹⁾ Versuche veröffentlicht hat, daß eine Verschiedenheit in der Structur dieser Metalle die Entstehung eines Stromes beim Erwärmen bedingt.

31. Bei den folgenden Versuchen sind die Stücke, von denen das eine warm und das andere kalt mit einander in Berührung gebracht wurden, stets von demselben Drahte abgeschnitten worden. Auch wenn das eine im weichen und das andere im harten Zustande sich befand, so waren doch beide von demselben Drahte entnommen, nachdem dieser erst hart gezogen und dann durch Erwärmen der eine Theil wieder weich gemacht worden war.

32. Um den Zustand der Härte nicht zu verändern, wurde bei den meisten Metallen nur die Temperatur von 100° C. angewandt. Zwar würde auch bei einer Temperatur bis zu 300° C. sich bei der größten Zahl derselben die Härte nicht ändern; indess konnten nur die edlen in dieser Temperatur noch zu den Versuchen benutzt werden, da die übrigen sich mit einer Schicht von Oxyd ²⁾ bedecken, wodurch das Resultat des Versuchs zweifelhaft wird.

33. Die Drähte wurden mit dem Multiplicator, oder mit den zu denselben führenden Kupferdrähten, in dem oben §. 13. beschriebenen Kasten mittelst der in demselben befindlichen Klemmen verbunden. Sie waren mindestens 18 Zoll lang, so daß etwa 15 Zoll derselben sich außerhalb des Kastens befanden. Das äußerste Ende von einem derselben wurde in dem im folgenden §. beschriebenen Apparat erwärmt, während der andere in einer Temperatur von 8° C. erhalten wurde. Wenn beide ihre Temperatur vollständig angenommen hatten und die Magnetnadel des Multiplicators ruhig auf 0° stand, wurden sie mit einander in Berührung gebracht. Dabei blieb der wär-

1) *Philosoph. Magazine for 1831. New Ser. Vol. X. 1.*

2) Sogar das Gold das 9,7 Proc. Kupfer enthält, und von dieser Zusammensetzung sind die meisten Goldmünzen, bedeckt sich, wenn es während längerer Zeit in einer Temperatur von 250 C. erhalten wird, mit einer Schicht von Oxyd.

mere Draht in dem Raum, in welchem er erwärmt worden. Verfährt man nicht auf diese Weise, nimmt man den wärmeren Draht aus diesem Raume heraus und bringt ihn dann mit dem kälteren in Berührung, so erhält man einen ganz anderen Ausschlag der Nadel des Multiplicators, weil in dem einen Falle die Ausgleichung der Temperatur schneller stattfindet als in dem andern.

34. Will man vergleichbare Resultate erhalten, so muß man dafür sorgen, daß die Berührung immer auf gleiche Weise stattfindet. Um dies zu erreichen bediente ich mich folgender Einrichtung.

In ein cylindrisches Gefäß, *AB* Fig. 6 Taf. III., von verzinnem Eisenblech und ganz ähnlicher Beschaffenheit und gleichen Dimensionen wie das oben §. 12 erwähnte, waren in einer Höhe von 1 Zoll über dem Boden zwei Röhren *ab* und *cd* eingesetzt, die einen Durchmesser von 0,5 Zoll hatten. Beide befanden sich in derselben horizontalen Ebene, und bildeten einen Winkel von 90° mit einander. Sie ragten beide mit ihren Enden *abcd* aus dem cylindrischen Gefäß etwa um 0,5 Zoll hervor. Da, wo sie sich kreuzten, bei *f*, war noch eine Röhre *fg*, von demselben Durchmesser, vertical angebracht, die oben bei *g* aus dem Deckel des Gefäßes etwa 1 Zoll hoch hervorragte. Die drei Röhren standen in ihrem Innern mit einander in Verbindung. Durch eine der beiden horizontalen Röhren, z. B. *ab*, wurde der zu erwärmende Draht geführt und mittelst Korke, welche bei *a* und *b* eingesetzt waren, in der Mitte der Röhre befestigt. Die Enden der anderen Röhre *cd* waren ebenfalls durch Korke verschlossen. Damit keine Berührung des Drahts mit dem Metalle des Gefäßes stattfinden konnte befanden sich in der Röhre *ab*, und ebenso auch in der anderen horizontalen Röhre *cd* inwendig Glasröhren, durch welche die Drähte gesteckt wurden. Diese ließen aber den mittleren Theil dieser Röhren, da wo die Verticale bei *f* aufgesetzt war, frei. In diesem mittleren Theile war unter dem horizontalen Draht ein Stückchen Holz mit ebener horizontaler Oberfläche befestigt, auf wel-

chem der Draht ruhte. In der verticalen Röhre aber befand sich ein Stab von Holz, der diese Röhre zwar ausfüllte, sich aber leicht auf und nieder bewegen liefs. Oben auf demselben war ausserhalb des cylindrischen Gefässes ein Gewicht *P* aus Blei von 1 Pfd. angebracht. Der Holzstab drückte daher mit der Kraft dieses Gewichtes den horizontal unter ihm befindlichen Draht fest auf das unter demselben befestigte Holzstück.

Das cylindrische Gefäss war mit Wasser gefüllt, und diefs wurde durch eine Lampe im beständigen Kochen erhalten. Die Röhren, welche ganz mit dem Wasser umgeben waren, nahmen daher auch in ihrem Inneren dieselbe Temperatur an.

Sobald man sicher war, dafs der Draht in der Röhre *ab* die Temperatur derselben erreicht hatte, wurde, nachdem vorher der Holzstab *fg* gehoben war, durch den Kork bei *c*, der mit einer Oeffnung von 1 Linie Durchmesser versehen war, der kalte Draht soweit eingeführt bis er den warmen kreuzte, und darauf wurden beide durch den Stab *fg* fest auf einander gedrückt.

35. Für die höhere Temperatur wurde ein Bad von leicht flüssigem Metall angewandt, das auf 250° erhalten wurde. Für dieses konnte das im vorhergehenden §. 34. beschriebene Blechgefäss nicht benutzt werden. Es wurde deshalb eine rechtwinklig gebogene Röhre aus Glas so in das Metallbad eingesetzt, dafs ihre offenen Enden über die Oberfläche des Metalls hervorragten. In dem einen Schenkel der Röhre wurde der eine Draht befestigt, und in den anderen der kalte Draht eingeführt. Da der innere Durchmesser der Röhre wenig mehr als der des Drahts betrug, so trafen die Drähte in der Spitze des Winkels, wo die Röhre ein klein wenig aufgeblasen war, auf einander.

36. Wenn der kalte den warmen Draht berührt, so weicht die Nadel ab, allein der erste Ausschlag derselben wird immer kleiner. Indem nämlich die Temperatur der Metalle sich ausgleicht, nimmt die Intensität des Stromes ab. In der folgenden Tabelle sind die ersten Ausschläge

der Nadel verzeichnet. Es muß indess bemerkt werden, daß bei Wiederholung der Versuche diese Ausschläge nicht immer gleich waren, und daß sogar bisweilen ziemlich bedeutende Verschiedenheiten sich zeigten. Diese rühren davon her, daß es nicht immer möglich ist den kalten Draht mit derselben Schnelligkeit an den warmen anzulegen. Findet hierbei aber eine Verzögerung statt, so erwärmt sich der erstere bevor er den warmen berührt, und dadurch ist die Intensität des Stromes gleich anfangs geringer.

Die in der Tabelle enthaltenen Zahlen sind die Mittel aus einer größeren Anzahl von Beobachtungen, die immer mit denselben Drähten angestellt sind. Wiewohl, nachdem was so eben gesagt worden ist, die einzelnen Beobachtungen nicht ganz übereinstimmend sind, so weichen sie doch nicht so sehr von den Mittelwerthen ab, daß diese nicht dazu dienen könnten, die Stärke des Stromes zu beurtheilen, welcher durch Temperatur-Differenz bei den verschiedenen Metallen entsteht, so wie auch die Stärke der Ströme mit einander zu vergleichen, welche bei ein und demselben Metalle zwischen zwei harten oder zwei weichen Stücken desselben entstehen.

37. Die Drähte auf welche sich die Angaben der folgenden Tabelle beziehen, sind die, mit welchen auch die oben §. 26. angeführten Zahlen erhalten worden sind. Die ähnlichen Versuche sind zwar auch noch mit verschiedenen anderen Drähten ausgeführt worden, es würde indess ohne Interesse seyn die erhaltenen Zahlen sämmtlich mitzutheilen. Eine einzige Reihe derselben wird genügen, und es schien am zweckmäßigsten die oben erwähnten Drähte für dieselbe zu wählen. Jedoch ist zu berücksichtigen, daß die Zahlen nicht mit den in der Tabelle §. 26. enthaltenen unmittelbar vergleichbar sind, da diese hier nur die ersten Ausschläge der Nadel, jene dort die constanten Ablenkungen bezeichnen.

Name des Metalls.	Der eine Draht 100° C. der andere 8° C.				Der eine Draht 250° C. der andere 8° C.			
	Beide Drähte		Ein hart der andere weich		Beide Drähte		Ein hart der andere weich	
	hart.	weich.	der harte warm.	der weiche warm.	hart.	weich.	der harte warm.	der weiche warm.
Neusilber	von: zu $k:w 40^\circ$	von: zu $k:w 72^\circ$	$v.: zu = v.: zu$ $\left\{ \begin{array}{l} k:w = W:H 5^\circ \\ \text{gleich darauf} \\ w:k = H:W 24 \end{array} \right.$	$v.: zu = v.: zu$ $k:w = H:W 80^\circ$	von: zu	von: zu	$v.: zu = v.: zu$	
Silber (fein)	" 7	" 3	$k:w = W:H 73$	$w:k = W:H 68$	$k:w 20^\circ$	$k:w 17^\circ$	$k:w = W:H 90^\circ$	$\left\{ \begin{array}{l} k:w = H:W 3^\circ \\ \text{gleich darauf} \\ w:k = W:H 90 \end{array} \right.$
Kupfer	" 3	" 8	" 24	" 15				
Zinn	" 7	" 10	$w:k = H:W 7$	$k:w = H:W 20$				
Zink	$w:k 28$	$w:k 28$	$w:k = H:W 62$	" 34				
Platin	" 24	" 22	" 13	$w:k = W:H 36$	$w:k 84$	$w:k 80$	$w:k = H:W 90$	$w:k = W:H 90$
Gold No. 2 mit 2,08 pC.	" 5	" 6	" 3	" 5	" 17	" 28	" 12	" 27
Silber	" 6	" 5	$\left\{ \begin{array}{l} w:k = H:W 2 \\ \text{gleich darauf} \end{array} \right.$	" 19	" 54	" 31	$\left\{ \begin{array}{l} w:k = H:W 10 \\ \text{gleich darauf} \\ k:w = W:H 30 \end{array} \right.$	" 69
Gold No. 1 mit 9,7 pC.	" 26	" 15	$k:w = W:H 11$	" 55				
Kupfer	" 3	" 12	" 90	" 90				
Cadmium	" 6	" 12	" 82	" 78	" 90	" 90	$\left\{ \begin{array}{l} w:k = H:W 6 \\ \text{gleich darauf} \\ k:w = W:H 90 \end{array} \right.$	" 90
Messing	" 0	" 0	" 0	" 0	" 0	" 0	" 0	" 0
Silber mit 25 pC. Kupfer								
Quecksilber Blei								

ungewis

38. Zur Abkürzung ist *warm* durch *w*, *kalt* durch *k*, *weich* durch *W* und *hart* durch *H* bezeichnet.

In der vierten, fünften, achten und neunten Columnne ist nicht nur angegeben ob der Strom vom warmen zum kalten Stück oder umgekehrt gehe, sondern ausserdem noch ob vom harten zum weichen. Wiewohl sich die zweite Ausgabe von selbst aus der ersten ergibt, so schien es doch, wegen der besseren Uebersicht, zweckmäfsig sie beizufügen.

39. Eisen und Stahl fehlen in der Tabelle. Diese zeigten nämlich an verschiedenen Stellen so verschiedene Härte, dafs bei Wiederholung der Versuche zu grofse Abweichungen in den Resultaten erhalten wurden.

40. Aus dem ähnlichen Grunde waren auch Antimon und Wismuth in Stangen nicht zu diesen Versuchen zu benutzen, denn verschiedene Stangen gaben ganz entgegengesetzte Resultate, bald ging der Strom vom warmen zum kalten, bald umgekehrt. Schon Seebeck und später Sturgeon haben gezeigt, wie oben §. 30. erwähnt, dafs diese Metalle beim Giefsen ganz verschiedene Beschaffenheit an verschiedenen Stellen annehmen, was offenbar durch Krystallisation bedingt wird; und Hr. Svanberg¹⁾ hat vor kurzem nachgewiesen, wie die Lage der Blätterdurchgänge die Richtung des Stromes bedingt. In gegossenen Stangen sind aber die Blätterdurchgänge nicht regelmäfsig gelagert. Wenn übrigens bei den hämmerbaren Metallen ein geringer Unterschied in der Härte die Richtung des Stromes ändert, so ist es wohl nicht auffallend, dafs so grofse Verschiedenheiten in der inneren Structur der Masse, wie sie senkrecht gegen die Richtung der Hauptblätterdurchgänge oder in irgend einer anderen Richtung stattfinden, ähnliche Wirkungen hervorbringen. Von grofsem Interesse bleibt es aber immer, dafs, wie Hr. Svanberg gezeigt hat, beim Antimon wie beim Wismuth, wenn man zwei Stücke anwendet die senkrecht gegen den Hauptblätterdurchgang geschnitten sind, der Strom vom warmen zum kalten geht, wenn man hin-

1) *Comptes rendus de l'Academie des Sciences à Paris XXXI. 250.*

gegen Stücke anwendet, die in der Richtung der Durchschnittslinie der beiden Blätterdurchgänge geschnitten sind, in entgegengesetzter Richtung d. i. vom kalten zum warmen geht.

41. Bei der Berührung von warmem und kaltem Quecksilber entsteht kein Strom. Hr. Henrici¹⁾ hat schon erwähnt, daß Vorsselman de Heer bei seinen Versuchen sich geirrt haben mußte. Um in dieser Beziehung ganz sicher zu seyn, wurde folgender Versuch angestellt.

Eine Glasröhre von der Form *AC* Fig. 7 Taf. III. war mit Quecksilber gefüllt, und dieses durch einen Platindraht, welcher durch den Kork bei *A* ging, mit dem Galvanometer in Verbindung gebracht. Ebenso war eine zweite Glasröhre von der Gestalt *BD* mit Quecksilber ganz gefüllt und dies durch den Platindraht, welcher durch den Kork bei *B* ging, mit dem anderen Ende des Galvanometerdrahts verbunden. Da zwischen dem Kork bei *B* und dem Quecksilber keine Luft enthalten war, und da außerdem die Oeffnung der Röhre bei *D* nur eng war, so konnte man diese Röhre *BD* mit Sicherheit bewegen und selbst so neigen, daß *D* tiefer zu liegen kam als *B*, ohne daß Quecksilber bei *D* ausfloß.

Es wurde sowohl das Quecksilber in *C* erwärmt und dann die Spitze *D*, welche kalt erhalten war, eingetaucht, als auch die Spitze bei *D* erwärmt und in das kalte Quecksilber bei *C* getaucht, allein es entstand niemals ein Strom.

Es ist wohl überflüssig anzuführen, daß dafür gesorgt war, daß beim Eintauchen keine Luft die Quecksilbermassen von einander trennte. Um gewiß zu seyn, daß dies nicht der Fall war, wurde nach dem Eintauchen der Kupferdraht, welcher zum Galvanometer führte, da wo er mit einem etwas dickeren Draht, gleichfalls aus Kupfer, verbunden war, mit den Fingern berührt, und sogleich zeigte die Nadel eine nicht unbedeutende Ablenkung.

42. Betrachtet man die Tabelle §. 37, so sieht man, daß bei mehreren Metallen der Strom vom kalten zum

1) Diese Ann. Bd. LXXX. S. 170.

warmen Theile geht, bei anderen entgegengesetzt. Bei einigen ist die Intensität des Stromes, welche durch einen Unterschied in der Härte entsteht, größer als die, welche durch die Temperatur-Differenz veranlaßt wird; so geht z. B. der Strom beim Silber stets vom weichen zum harten Draht, welcher von beiden auch der wärmere ist; bei anderen Metallen ist es umgekehrt, z. B. beim Platin und bei dem mit 2,08 Proc. Silber legirten Golde, bei welchen der Strom stets vom wärmeren zum kälteren geht, welcher von beiden auch der härtere ist. Aber bei diesen ist auch, wie aus der Tabelle in §. 26. hervorgeht, der Strom, welcher durch eine Verschiedenheit in der Härte entsteht, sehr gering (beim Platin 5 Grad und beim Gold nur 2 Grad), beim Silber hingegen ist derselbe ziemlich stark (46 Grad beim feinen, und 40 Grad bei dem mit 25 Proc. Kupfer legirten).

43. Bei den meisten Metallen ist die Intensität des Stromes bei Berührung von weichen Drähten stärker als bei der von harten, doch kommt auch das Umgekehrte vor, namentlich beim feinen Silber, und auch beim Cadmium.

44. Sehr bemerkenswerth ist das Verhalten des Silbers. Während bei dem feinen Silber der Strom stets vom kalten zum warmen Metalle geht, wenn beide gleiche Härte haben, geht er bei dem mit 25 Proc. Kupfer legirten vom warmen zum kalten.

Wird ferner das feine Silber im weichen Zustande bis 250° C. erhitzt, und dann mit einem kalten harten Draht desselben Metalls berührt, so ist der Strom, welcher durch die Temperatur-Differenz entsteht, anfangs, wo diese noch sehr groß ist, der stärkere, gleich darauf aber wird die Richtung des Stromes entgegengesetzt, denn indem die Temperaturen beider Drähte sich ausgleichen, wird die Richtung, welche der Unterschied der Härte bedingt, überwiegend, der Strom geht nun vom weichen zum harten Draht, während er bei der ersten Berührung vom harten zum weichen ging.

Aehnlich verhält sich das Silber mit 25 Proc. Kupfer, wenn es im harten Zustande bis 250° C. erwärmt, und

dann mit einem harten kalten Stück berührt wird. Auch hier ist anfangs der Strom, welcher durch die Temperatur-Differenz entsteht, der stärkere und geht vom warmen zum kalten Metall, gleich darauf aber wird der Einfluss der Härte überwiegend und der Strom geht in entgegengesetzter Richtung.

Das Neusilber zeigt dieselbe Umkehrung des Stroms schon bei 100° C. Ebenso das Gold No. 1.

45. Auf ähnliche Weise findet eine Umkehrung des Stromes gewiss häufig statt, und die großen Abweichungen in den Resultaten der Physiker, welche sich mit der Bestimmung der Richtung und Intensität thermoelektrischer Ströme beschäftigt haben, rühren offenbar theilweis davon her, dass dieselben den Einfluss der Härte und der Temperatur-Differenz nicht getrennt haben. Eine Wiederholung dieser Bestimmungen ist deshalb gewiss wünschenswerth, und ich hoffe dieselbe vornehmen zu können.

46. Es sind oben §. 3—5 bereits die hauptsächlichsten Ansichten erwähnt worden, welche man von der Entstehung der thermoelektrischen Ströme aufgestellt hat. Auch sind in §. 21 die Thatsachen angeführt, welche der Annahme entgegenstehen, dass das Ausstrahlungsvermögen der Wärme einen Einfluss auf die Hervorbringung des Stroms habe. Aber auch die Bewegung, oder richtiger die Fortpflanzung der Wärme, kann nicht die Ursache der thermoelektrischen Ströme seyn. Wenigstens widersprechen die mitgetheilten Beobachtungen einer solchen Ansicht ganz entschieden.

47. Geht man, wie viele Physiker thun ¹⁾, davon aus,

- 1) Hr. de la Rive sagt in seiner Abhandlung *«Sur les variations diurnes de l'aiguille aimantée et les aurores boréales»* in den *Annales de Chimie et de Physique* 3 Ser. Tome XXV. p. 311. *«On sait que dans un corps d'une nature quelconque, chauffé à l'une de ses extrémités, refroidi à l'autre, l'électricité positive marche de la partie chaude vers la froide, et la négative en sens contraire; il en résulte que l'extrémité inférieure d'une colonne atmosphérique est constamment négative, et la supérieure constamment posi-*

dafs die Abnahme der Temperatur in einem Leiter einen Strom hervorbringe, und erwärmt man eine Stelle eines vollkommen homogenen Drahts, der überall denselben Durchmesser hat, so nimmt in demselben die Temperatur nach beiden Seiten gleichmäfsig ab, und es entstehen nach beiden Seiten Ströme, die gleich aber entgegengesetzt sind, weshalb kein Strom wahrnehmbar ist. Berührt man hingegen eine warme Stelle eines solchen Drahts mit einem kalten Stück desselben Metalls, so nimmt die Temperatur, die an der Berührungsstelle für beide Stücke offenbar dieselbe ist, in dem kalten viel rascher ab als in dem warmen, und man könnte sich vorstellen, dafs dabei Ströme von verschiedener Intensität und verschiedener Richtung entstehen, deren Differenz als Thermostrom beobachtet wird. Da indess die Richtung dieses Stroms nicht bei allen Metallen mit der Richtung der gröfseren Abnahme der Wärme zsammenfällt, da bei einigen Metallen der Strom von der warmen zur kalten Stelle geht, bei anderen hingegen in entgegengesetzter Richtung, so ist eine solche Annahme nicht möglich. Ausserdem nimmt bei einem Drahte, der an einer Stelle dicker als an der anderen ist, wenn er an der Gränze dieser Stellen erwärmt wird, die Temperatur nach beiden Seiten verschieden ab, es müfste also bei einem solchen ebenfalls ein Strom entstehen, was, wie oben §. 20 gezeigt worden, nicht der Fall ist.

48. Wollte man dennoch die Wärmeleitung als die Ursache der thermoelektrischen Ströme ansehen, so wäre diefs nur möglich, indem man voraussetzte, dafs dieselben nicht von der Abnahme der Temperatur, sondern von der Schnelligkeit der Fortpflanzung der Wärme oder von dem inneren Leitungsvermögen abhängen. Man müfste dann zugleich voraussetzen, dafs dieses Leitungsvermögen, oder der Wärmecoëfficient, für ein und denselben Körper nicht

itce etc. » Ich gestehe, dafs mir nicht bekannt ist, wo der Beweis geführt worden, dafs ein Strom entstehe, wie Hr. de la Rive angiebt. Die in §. 39. mitgetheilten Resultate zeigen, dafs diefs nicht der Fall ist.

constant, sondern bei verschiedenen Temperaturen verschieden sey. Diefs ist jedoch der allgemeinen Annahme, welche auch Poisson in seinem *Traité sur la chaleur* zu Grunde gelegt hat, entgegen. Zwar hat Hr. Langberg ¹⁾ in seiner Abhandlung: »Ueber die Bestimmung der Temperatur und Wärmeleitung fester Körper« gezeigt, dafs die vorhandenen Beobachtungen wohl zu der Annahme berechtigen, dafs der Leitungscoëfficient eine Function der Temperatur sey; dafs derselbe aber für das eine Metall mit der Temperatur zunehme, für das andere hingegen abnehme, und dafs eine ähnliche Verschiedenheit für die harten und weichen Theile eines und desselben Metalls stattfinde, ist mindestens sehr unwahrscheinlich.

49. Dennoch schien es wünschenswerth, so weit als möglich zu ermitteln, ob solche Verschiedenheiten des Leitungsvermögens vorhanden sind, und deshalb wurde folgender Versuch angestellt.

Von einem starken Messingdraht, der 2,25 Linien im Durchmesser hatte und durch Ziehen ganz hart war, wurden zwei Stücke abgeschnitten, deren jedes 4 Fufs lang war. Das eine derselben wurde gegläht und dadurch weich gemacht, und nachdem beide gerade gerichtet waren und eine ganz gleiche Oberfläche durch Poliren erhalten hatten, wurden sie mit ihrem einen Ende in dem oben §. 12. beschriebenen Gefäfse mit kochendem Wasser, mittelst der in den Hülzen befindlichen Korke so befestigt, dafs beide in derselben horizontalen Richtung sich befanden. Sie waren so lang, dafs die ausser dem Gefäfse befindlichen Enden unausgesetzt die Temperatur der umgebenden Luft behielten. Um zu untersuchen, ob die Fortpflanzung der Wärme in beiden gleich sey oder nicht, wurden die kalten Enden derselben durch einen anderen Messingdraht mit einander verbunden, und darauf an das eine Ende des Drahts des oben §. 8. beschriebenen Galvanometers ein Stäbchen von Antimon, sowie an das andere ein Stäbchen von Wismuth gelöthet. Wurde dann mit

1) Diese Ann. LXVI. I.

dem einen von diesen Stäbchen der weiche Messingdraht berührt, und mit dem andern der harte, so entstand ein Strom, wenn die Temperaturen der beiden Berührungsstellen verschieden waren. Durch Verschieben des einen Stäbchens konnte man es indess stets dahin bringen, daß kein Strom sich zeigte, und dann war man sicher, daß beide Berührungspunkte gleiche Temperaturen hatten. Suchte man nun für verschiedene Punkte des harten Drahts die Stellen gleicher Temperatur des weichen auf, so ergab sich aus dem Verhältniß der Entfernungen dieser Punkte das Verhältniß der Leitungscoefficienten der beiden Messingdrähte.

Das Wismuth- und das Antimon-Stäbchen waren 2,5 Zoll lang 1,5 Linien dick und ebenso breit. Sie endeten in einer scharfen Kante, so daß sie die runden Messingstäbe nur in einem Punkte berührten. Um zu vermeiden, daß ein Strom durch Verschiedenheiten der Temperaturen an den Stellen entstehen möchte, wo die Stäbchen an den Kupferdrähten, die zum Galvanometer führten, angelöthet waren, wurden diese Stäbchen selbst, so wie auch der Kupferdraht auf eine Länge von 4 Zoll mit Gutta-Percha von 0,25 Zoll Dicke so umkleidet, daß nur die äußerste Kante der Stäbchen hervorragte. Jedes von diesen beiden Stäbchen befand sich in einer Klemme aus Holz, die an einem Maafsstabe hin- und hergeschoben werden konnte. Dieser Maafsstab war parallel mit den beiden Messingdrähten, deren Leitungsvermögen untersucht werden sollte. Er war so vorgerichtet, daß man ihn um eine Längensaxe drehen konnte. Dadurch war es möglich die Klemmen mit den Antimon- und Wismuthstäbchen zu heben und beide zu gleicher Zeit auf das Messing wiederum niederzulassen. Es ist nämlich nothwendig, wenn man sichere Angaben durch ein solches thermoelektrisches Element erhalten will, die Berührungsstellen nur während kurzer Zeit zu erwärmen, damit die Erhöhung der Temperatur sich nicht weit in den Stab hinein erstrecke; denn da diese Metalle niemals homogen sind, so entstehen leicht Ströme, welche
durch

durch die Verschiedenheiten in der Structur des Metalls bedingt sind. Wenn die Stäbchen auf die Messingdrähte niedergelassen waren, so wurden sie durch gleiche Gewichte gegen dieselben gedrückt, damit die Berührung ganz gleichmäfsig sey. Die Entfernungen zwischen den Punkten für welche die Temperaturen in dem harten und in dem weichen Messingstabe gleich waren, wurden theils auf diesen selbst, theils auf dem Maafsstabe gemessen an dem die Klemmen verschiebbar waren, es war indess keine Verschiedenheit dieser Entfernungen zu finden. Kleine Schwankungen waren zwar vorhanden, allein sie fanden bald in dem einen, bald in dem anderen Sinne statt, so dafs sich nur sagen läfst, dafs soweit die Zuverlässigkeit der Methode reicht, kein Unterschied in dem Wärmeleitungsvermögen der beiden Messingsstäbe zu beobachten war.

Statt der Stäbe aus Messing wurden auch Stäbe von denselben Dimensionen aus Neusilber angewendet, aber auch bei diesen war kein Unterschied im Wärmeleitungsvermögen zwischen dem harten und dem weichen Metall zu beobachten, und doch war der Unterschied in der Härte sowohl bei den Stäben aus Messing als auch bei denen aus Neusilber so bedeutend, dafs wenn diese Stäbe sich unter einander berührten und an der Berührungsstelle erwärmt wurden, ein sehr kräftiger elektrischer Strom entstand.

50. Wenn aber eine Verschiedenheit in dem Leitungsvermögen der Wärme die Ursache des thermoelektrischen Stromes nicht ist, so kann diese überhaupt nicht in der Fortpflanzung der Wärme liegen, da wie oben gezeigt ist, weder die Abnahme der Temperatur noch auch die Ausstrahlung die Richtung des Stroms bedingen. Man wird schwerlich eine andere Erklärung für diese Ströme finden, als dafs die Elektrizität, welche sich in ihnen fortpflanzt, durch die Berührung von heterogenen Substanzen erzeugt sey.

51. Bei der Berührung zweier Metalle oder auch nur eines harten und eines weichen Stücks desselben Metalls, nimmt

jedes von beiden Elektricität an. Man muß voraussetzen, daß mit einer Veränderung der Temperatur auch die Intensität dieser Elektricität sich ändert. Wenn daher z. B. ein hartes Stück eines Metalls an jedem Ende mit einem weichen Stück desselben Metalls berührt wird, so ist, so lange die Temperatur an beiden Berührungsstellen dieselbe ist, auch die Elektricität an beiden gleich, aber von entgegengesetzter Richtung, weshalb kein Strom entsteht. Ist hingegen die Temperatur an den Berührungsstellen verschieden, so ist auch die Elektricität an diesen verschieden, und die Differenz der beiden Wirkungen wird die Richtung und Intensität des Stromes bedingen.

52. Daß diese Annahme richtig sey würde dadurch vollständig bewiesen werden können, daß man die erwähnten Aenderungen der Elektricität bei verschiedenen Temperaturen nachwies und zugleich zeigte, daß sie mit der Richtung des Stromes übereinstimmen. Bis jetzt hat dies nicht gelingen wollen, offenbar weil die freie Elektricität zu gering ist, um eine Wirkung auf das Elektrometer hervorzubringen.

53. Aber auch ohne solchen Beweis wird man sich zu dieser Annahme verstehen müssen.

Dieselbe scheint zwar noch eine besondere Schwierigkeit darzubieten, die indessen nicht haltbar ist. Denkt man sich nämlich einen Leiter in dem ein thermoelektrischer Strom vorhanden ist, in unendlich viele Schichten senkrecht gegen die Fortpflanzungsrichtung des Stromes getheilt, so haben diese Schichten verschiedene Temperaturen. Man könnte sich vorstellen, daß wenn dieselben hinreichend dünn angenommen werden, die Temperatur in einer jeden Schicht überall dieselbe sey. Wenn dann auch Schichten von verschiedener Temperatur sich gegen einander wie heterogene Leiter verhalten und bei ihrer Berührung verschiedene Elektricitäten annehmen, so müßte doch, in Folge des bekannten Volta'schen Gesetzes, die Elektricität an den beiden äußersten Schichten genau ebenso groß seyn wie die, welche bei unmittelbarer Be-

rührung dieser Schichten entsteht. Es würde daher in dem geschlossenen Leiter kein Strom entstehen können.

Allein wenn man auch für irgend eine mathematische Betrachtung in jeder der unendlich dünnen Schichten die Temperatur als constant ansehen kann, so darf man doch hier, wo es sich um den physikalischen Vorgang handelt, nicht annehmen, daß in einer auch noch so dünnen Schicht die Temperatur auf beiden Seiten gleich sey. Denn wenn die Temperatur in dem Leiter von dem einen Ende nach dem andern abnimmt, so ist jede, auch die dünnste Schicht desselben, nach beiden Seiten verschieden.

54. In sofern bietet das Metall, das einen thermoelektrischen Strom erregt, eine vollkommene Analogie mit der Flüssigkeit, welche in einem hydroelektrischen Paare wirksam ist. Beide folgen nicht dem Gesetze, welches Volta für die Erregung der Elektrizität in metallischen Leitern gefunden hat. Bei der erregenden Flüssigkeit kann man sich den Vorgang etwa so vorstellen, daß sie durch die Berührung mit dem einen Metalle zersetzt wird; der eine ihrer Bestandtheile verbindet sich dabei mit dem einen Metalle, während der andere sich zu dem andern Metalle hinbewegt. Dadurch wird die Flüssigkeit nach beiden Seiten verschieden, und eben dadurch unterscheidet sie sich von festen Leitern, die bei constanter Temperatur nach beiden Seiten gleich sind. Nicht ihr flüssiger Zustand macht sie zum Erreger der Elektrizität, sondern die chemische Veränderung, welche sie erleidet. Der tropfbarflüssige Zustand ist nur in sofern dabei wirksam, als er eine Bewegung der einzelnen Bestandtheile zuläßt, wodurch die Flüssigkeit nach beiden Seiten heterogen wird und Veranlassung zum Entstehen des Stromes giebt.

Die chemische Action des Metalls leitet gleichsam den Strom nur ein. Stellt man sich z. B. einen Streifen Zink und einen Streifen Kupfer vor, die in verdünnte Schwefelsäure tauchen, so wird das Zink das Wasser zersetzen, und nach kurzer Zeit mit einer Schicht von schwefelsaurem Zink umgeben seyn. Da die beiden Metalle sich nicht

mehr in der gleichartigen Flüssigkeit befinden, so wird auch die Elektrizität, welche sie bei Berührung derselben annehmen, nicht mehr in Summa gleich der seyn, welche sie bei unmittelbarer Berührung zeigen. Berühren sie sich alsdann auch außerhalb der Flüssigkeit, so entsteht ein Strom. Durch diesen wird von neuem Wasser zersetzt, es wird der Wasserstoff nach dem Kupfer bewegt, während die Säure und der Sauerstoff sich nach dem Zink bewegen; hierdurch wird eine neue Quantität von Zink gelöst und es tritt eine noch stärkere chemische Wirkung ein. Diese letztere ist Folge des elektrischen Stromes, während jene erstere, welche vor der Schließung der Kette stattfand, als die einleitende Ursache angesehen werden kann, da sie den Strom dadurch veranlafte, daß sie eine Heterogenität der Flüssigkeit bewirkte.

Auf ganz ähnliche Weise erzeugt die Heterogenität, welche in einem Metalle vorhanden ist das an einem Ende eine höhere Temperatur als an dem anderen hat, den thermoelektrischen Strom.

55. Als ich die oben beschriebenen Versuche begann, hoffte ich zuversichtlich zu finden, daß die thermoelektrischen Ströme von einer Bewegung der Wärme herrühren. Hierzu veranlafte mich besonders die von Peltier zuerst beobachtete Erscheinung der Kälteerregung durch den elektrischen Strom. Ich muß Andern zu beurtheilen überlassen in wie weit die angeführten Versuche noch die Annahme zulassen, daß die Leitung oder Strahlung der Wärme die Ursache der thermoelektrischen Ströme sey, für mich schliessen sie eine solche aus. Allein ich verkenne nicht die Schwierigkeit, welche der Peltier'sche Versuch bietet. Vielleicht gelingt es bei Fortsetzung dieser Untersuchung, auch diesen Einwand gegen die Annahme zu beseitigen, daß die thermoelektrischen Ströme, wie die hydroelektrischen, ihren Grund nur in der Elektrizität haben, welche durch Berührung heterogener Substanzen entsteht.

II. *Ueber die Dauer und den Verlauf der durch Stromesschwankungen inducirten elektrischen Ströme; von H. Helmholtz.*

Die von Pouillet vorgeschlagene Methode, eine zu messende kleine ZeitgröÙe aus der Wirkung zu berechnen, welche während derselben ein elektrischer Strom von bekannter Intensität auf einen Magnet ausgeübt hat, ist von mir für physiologische Zwecke benutzt worden. Im weiteren Verlaufe dieser Messungen sah ich mich genöthigt, Versuche anzustellen über die Dauer der durch plötzliche Stromesschwankungen inducirten elektrischen Ströme, welche ich zur Reizung der thierischen Theile gebrauchte, und über die Art, wie der zeitmessende Strom unter dem Einflusse des ihm entgegenwirkenden Schließungsgegenstromes der Multiplicatorspirale zu strömen anfangt. Durch diese Versuche bin ich im Stande gewesen, einzelne Bestätigungen für ein sehr allgemeines mathematisches Princip zu geben, welches sich zur Bestimmung des Verlaufs solcher Strömungen darbot. Die rein physikalischen Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in dem vorliegenden Aufsatze zusammengestellt.

Ich schicke die theoretischen Erörterungen voraus, weil sie für das Verständniß der Anordnung der Versuche nothwendig sind. Man hat bis jetzt das Ohm'sche Gesetz über die Abhängigkeit der Stromstärke von den elektromotorischen Kräften und dem Widerstande der Leitungen nur auf Ströme von constanter Intensität angewendet, oder höchstens auf solche, deren Dauer noch in die Gränzen unmittelbar durch unsere Sinne wahrnehmbarer Zeittheile fällt, wie es z. B. bei den durch Bewegung von Magneten inducirten der Fall ist. Dagegen erregte sein Gebrauch für diejenigen Ströme Bedenken, welche durch Schließung und Oeffnung eines galvanischen Stroms inducirt werden, weil die dem Ansteigen und Verschwinden des induciren-

den Stromes entsprechende geringe Dauer derselben zu kurz zu seyn schien, als dafs die Erfüllung der Grundbedingung des Ohm'schen Gesetzes, nämlich die Ausgleichung der Stromstärke durch die ganze Länge der Leitung, angenommen werden konnte. Bei der Induction durch Unterbrechung der Leitungen ist die inducirende Stromesschwankung nothwendig auf die Zeit beschränkt, während welcher sich die Metalle an der Unterbrechungsstelle von einander lösen. Diese Zeit ist allerdings nicht gleich Null, weil der hier entstehende Funke noch einen Augenblick durch die übergeführten Metalltheilchen die Verbindung unterhält, aber die Funkendauer ist doch so klein, dafs sie bis jetzt noch nicht gemessen werden konnte, und wir deshalb auch ihr Verhältnifs zu dem der Fortpflanzungszeit der Elektrizität durch die Leitungen nicht kennen. Dazu kommt, dafs auch der Widerstand der inducirenden Leitung während der Unterbrechungszeit uns unbekannt ist, und selbst wiederum von der elektromotorischen Kraft des Oeffnungsgegenstroms abzuhängen scheint. Anders ist es bei der Induction durch Schließung der Leitungen. Hier finden sämtliche Ströme von Anfang an Wege von constantem Widerstande, und keiner ist in seiner Dauer durch äufsere mechanische Einflüsse beschränkt. Wenn ein elektrischer Strom in einer nicht spiralförmig aufgewundenen Leitung ohne merklichen Anfangsgegenstrom entsteht, ist allerdings wohl während seines Ansteigens keine gleichmässige Vertheilung der Stromstärke in der Leitung vorauszusetzen. Wenn er aber gleichzeitig inducirte Ströme hervorruft, fragt es sich, ob diese nicht das Anwachsen des inducirenden Stromes so verzögern, dafs die Ausgleichung der Stromstärke in der ganzen Leitung fortdauernd möglich bleibt, und in der That läfst sich schon aus den bisher bekannten Thatfachen und Gesetzen nachweisen, dafs Anordnungen, in denen dies zutrifft, ausführbar seyn müssen.

Beschränken wir zunächst unsere Erörterung auf den einfachsten Fall, den, wo eine einfache Leitung geschlos-

sen wird, welche Volta'sche Elemente und eine Spirale enthält. Im Augenblicke der Schließung fängt die Elektrizität an sich in Bewegung zu setzen, aber das Ansteigen des Stromes selbst bringt in der Spirale eine ihm entgegenwirkende elektromotorische Kraft hervor, wodurch seine volle Entwicklung nothwendig verzögert werden muß. Schon Dove ¹⁾ hat aus magnetelektrischen Versuchen den wichtigen Schluß gezogen, daß durch diese Schließungsinduction der sich entwickelnde Strom niemals überwältigt und in der Richtung umgekehrt, sondern nur vermindert werde; dasselbe wird aus meinen später beizubringenden Versuchsreihen hervorgehen. Denken wir uns den in der Leitung vorhandenen Strom aus dem Batteriestrom von constanter Stärke und einem inducirten Strome von entgegengesetzter Richtung und veränderlicher Stärke zusammengesetzt, so muß die letztere stets kleiner seyn als jene des Batteriestroms. Der inducirte Strom allein würde aber während seiner kurzen Dauer eine elektromagnetische Wirkung von bestimmter Gröfse hervorbringen. Damit der ihm entgegengerichtete Batteriestrom dieselbe Wirkung hervorbringen könne, muß er eine bestimmte endliche Zeit hindurch auf den Magnet wirken. Wenn aber die elektromagnetische Wirkung eines Stromes von geringerer, der eines anderen von höherer Intensität gleich seyn soll, muß ersterer länger dauern, als letzterer. Daraus folgt unmittelbar, daß die Dauer des inducirenden Stromes größer seyn muß, als diejenige Zeit, in welcher der inducirende dieselbe elektromagnetische Wirkung hervorbringt.

Ein ruhender Magnet wird durch den inducirten Strom allein genommen, abgelenkt um einen Bogen proportional

$$1) \quad \int_0^{\infty} i dt = \frac{P}{W} J,$$

wo i die Intensität des inducirten, J die des Batteriestromes bezeichnet, W den Widerstand der Leitung in abso-

1) Ueber den Gegenstrom zu Anfang und Ende eines primären. Diese Annalen Bd. LVI, S. 365.

luten Einheiten¹⁾, t die Zeit und P das nur von den geometrischen Verhältnissen abhängige Potential der Spirale auf sich selbst. Ebenso verursacht der Batteriestrom J , wenn er allein während der sehr kurzen Zeit t auf den Magnet wirkte, einen Ausschlag proportional

$$\int_0^t J dt = Jt.$$

Machen wir

$$t = \frac{P}{W},$$

so üben beide Ströme gleiche elektromagnetische Wirkung aus, und da i immer kleiner als J seyn soll, muß nothwendig die Dauer des Stromes i gröfser als $\frac{P}{W}$ seyn.

Da es uns darauf ankommt, diese Dauer möglichst grofs zu machen, um die Fortpflanzungszeit der Elektrizität durch die Leitung dagegen verschwinden zu lassen, wollen wir die Bedingungen untersuchen, unter denen dies erreicht wird. Zunächst müssen wir den Nenner W dadurch verkleinern, dafs wir den aufser der Spirale vorhandenen Widerstand möglichst verschwinden machen, was sich in der Ausführung durch Anwendung grofsplattiger Volta'scher Elemente oder Anordnung von solchen in nebeneinander wirkenden Parallelreihen bis zu jeder beliebigen Gränze wird erreichen lassen. Setzen wir voraus, dies sey geschehen, so dafs wir unter W uns nur noch den Widerstand der Spirale zu denken haben. Alsdann wird der Werth des Quotienten $\frac{P}{W}$ nur von der Masse des Drahtes und der Gestalt der Spirale abhängen, aber fast unabhängig seyn von der Zahl der Windungen. Denken wir nämlich die Drahtleitung der Spirale in zwei Leitungen von gleicher Länge und halbem Querschnitte zerlegt, welche vom Strome hintereinander durchlaufen werden, so wird sowohl W als P vervierfacht; ersteres weil jetzt die Leitung bei doppelter Länge nur den halben Querschnitt hat,

1) S. Kirchhoff in diesen Ann. Bd. LXXVI, S. 426.

letzteres weil wir jetzt doppelt so viel inducirende, und doppelt so viel inducirte Stromelemente haben. Nur in dem Falle kann sich der Werth von $\frac{P}{W}$ dabei ändern, wenn die Dicke der Dräthe im Verhältniß zu den Dimensionen der Spirale so beträchtlich ist, daß die Induction an verschiedenen Stellen desselben Querschnitts des Drahtes mit merklich verschiedener Kraft wirkt. Da die Ausgleichungszeit der Stromstärke durch die Leitung wahrscheinlich nur von ihrer Länge abhängt, kann man sie durch Verminderung der Zahl der Windungen bei gleichbleibender Masse des Drahts jedenfalls kleiner als jede bis jetzt meßbare Zeitgröße machen, ohne daß dabei die Dauer des Inductionsstroms geändert wird. Was den Einfluß einer Vermehrung der Masse des Drahtes betrifft, so giebt der von Neumann für das Potential zweier Strombahnen entwickelte Ausdruck folgenden Anhaltspunkt. Sind ds_1 , und ds_2 , Längenelemente der Strombahnen, r ihre Entfernung, α der von ihren Richtungen gebildete Winkel, so ist das Potential der Bahnen das Integral

$$\iint \frac{ds_1 ds_2}{r} \cos \alpha$$

über beide Bahnen ausgedehnt. Denken wir nun die Länge der Elemente ds_1 , und ds_2 , so wie sämtliche lineare Dimensionen der Strombahnen, also auch r , auf das n -fache vergrößert, so wird auch der Werth jenes Integrals, des Potentials der Bahnen, der n -fache. Wir erhalten dadurch das Potential einer Spirale, welche der ersten gegebenen geometrisch ähnlich ist, eine n^3 so große Masse und einen Draht von der n -fachen Länge und dem n^2 -fachen Querschnitt, also dem Widerstande $\frac{1}{n}$ hat. Der Quotient $\frac{P}{W}$ wird also für diese n^2 mal so groß seyn als für die erste. Daraus geht hervor, daß wir die Dauer des Schließungsinductionsstromes durch entsprechende Vermehrung der Drahtmassen bis zu jeder beliebigen Größe vermehren können.

Es wird also jedenfalls möglich seyn, Bedingungen herzustellen, unter welchen die Fortpflanzungszeit der Elektrizität durch die Leitung verschwindend klein ist gegen solche Zeittheilchen, während welcher sich die Intensität des Stromes nicht merklich ändert. Nur dadurch, dass in einzelnen Zeittheilchen die Ansteigungsgeschwindigkeit vielleicht unendlich groß würde, könnten Ausnahmen eintreten. Uebrigens will ich als Anhaltspunkt für die Anschauung gleich vorweg bemerken, dass zur Verwirklichung der aufgestellten Bedingungen gar nicht so sehr große Drahtmassen nothwendig sind. Für eine möglichst eng gewickelte Spirale von 2 Pfund Kupferdraht, wie ich sie in den unten beschriebenen Versuchen gebraucht habe, ist die Größe $\frac{P}{W} = 0,00497$ Sekunden, während die Fortpflanzungszeit der Elektrizität in dem etwa 64 Met. langen Drahte nach der Bestimmung von Fizeau und Gounelle über 10000mal kleiner seyn würde.

Wenden wir also nach diesen Vorbemerkungen das Ohm'sche Gesetz auf den bisher betrachteten Fall der Schließungsinduction in einer einfachen Leitung an. Es sey J die ganze in derselben vorhandene Stromesintensität, A die elektromotorische Kraft der Volta'schen Elemente; die übrigen Buchstaben behalten ihre Bedeutung. Die elektromotorische Inductionskraft wird $P \frac{dJ}{dt}$ seyn, unter der Voraussetzung, welche wir vorläufig machen, und später noch experimentell prüfen werden, dass diese Kraft mit der inducirenden Stromesschwankung vollkommen gleichzeitig sey, oder wenigstens nur verschwindend kleine Zeiträume hinter ihr zurückbleibe. Dann ist:

$$2) \quad JW = A - P \frac{dJ}{dt}$$

oder

$$\frac{-\frac{dJ}{dt}}{\frac{A}{W} - J} = -\frac{W}{P}.$$

Dieſs integrirt giebt:

$$\log \left[\frac{A}{W} - J \right] = -\frac{W}{P} t + C,$$

oder, wenn wir $J=0$ für $t=0$ setzen:

$$3) \quad J = \frac{A}{W} \left(1 - e^{-\frac{W}{P} t} \right).$$

Dadurch iſt der Verlauf der Induction vollſtändig beſtimmt; ihre Dauer iſt keine begränzte, ſondern die Intensität des ganzen vorhandenen Stroms nähert ſich asymptotiſch demjenigen Werthe $\frac{A}{W}$, welcher ihr ohne Berücksichtigung der Induction nach dem Ohm'schen Geſetze zukommt.

In derſelben Weiſe kann der Verlauf der inducirten Ströme in einer beliebigen Anzahl von beliebig verzweigten Leitungen mit einer beliebigen Anzahl auf einander einwirkender Spiralen beſtimmt werden, wenn nur keine Intensitätsänderung von ſo groſſer Schnelligkeit vorkommt, daſs das Ohm'sche Geſetz ſeine Anwendbarkeit verliert. Es gehören hierher ſämmtliche Inductionen durch Schließung von Leitungen, und von den Oeffnungsinductionen wenigſtens diejenigen Stromtheile, welche den Funken überdauern. Ich werde ſpäterhin Verſuche beſchreiben, aus denen ſich ergibt, daſs auch die Oeffnungsschläge die erſten vielleicht unregelmäßigen Nachwirkungen der plötzlichen Unterbrechung des inducirenden Stroms an Dauer bedeutend übertreffen. Um die Aufgabe ganz allgemein zu löſen, denke man die verzweigten Leitungen in die möglichſt geringe Zahl einfacher Umgänge zerlegt¹⁾. Es gehöre dem Umgange a die Intensität i_a ; ſein ganzer Widerſtand ſey w_a , der Widerſtand deſſenjenigen Stückes der Leitung, welches ihm und dem Umgange b gemeinſchaftlich zukommt ſey w_{ab} , welches man poſitiv ſetze, wenn i_a und i_b dieſelbe, negativ, wenn ſie entgegengesetzte Richtung haben; die Summe der constanten in ihm vorhande-

1) Kirchhoff in dieſen Ann. Bd. LXXII, S. 497.

nen elektromotorischen Kräfte sey A_n , sein Potential auf sich selbst P_n , das gegen den Umgang b sey Q_n . Die Intensitäten in den einzelnen Zweigen der Leitung, welche Kirchhoff als unbekannte Größen gebraucht hat, sind bei dieser Art der Zerlegung zu ersetzen durch die algebraische Summe der Intensitäten aller derjenigen Umgänge, denen der betreffende Zweig angehört. Die von Kirchhoff aus den Ohm'schen Principien hergeleiteten Gleichungen, welche aussprechen, daß in jedem Umgange die Summe der elektromotorischen Kräfte gleich sey der Summe aus den Producten der Intensitäten der zugehörigen Zweige und ihrer Widerstände, nimmt dabei folgende Form an, wenn K_n die gesammte elektromotorische Kraft ist, d. h. der Volta'schen Elemente und der Induction zusammen genommen:

$$K_n = i_1 w_{1..} + i_2 w_{2..} + i_3 w_{3..} + \text{etc.}$$

Ersetzt man K_n durch seine einzelnen Summanden, so erhält man bei n Umgängen folgendes System von Gleichungen:

$$\begin{aligned}
 & \left. \begin{aligned}
 4) \quad & A_1 = i_1 w_{1..} + i_2 w_{1..2} + i_3 w_{1..3} + \text{etc.} + i_n w_{1..n} \\
 & + P_1 \frac{di_1}{dt} + Q_{1..2} \frac{di_2}{dt} + Q_{1..3} \frac{di_3}{dt} + \text{etc.} + Q_{1..n} \frac{di_n}{dt} \\
 & A_2 = i_1 w_{1..2} + i_2 w_{2..} + i_3 w_{2..3} + \text{etc.} + i_n w_{2..n} \\
 & + Q_{1..2} \frac{di_1}{dt} + P_2 \frac{di_2}{dt} + Q_{2..3} \frac{di_3}{dt} + \text{etc.} + Q_{2..n} \frac{di_n}{dt} \\
 & A_3 = i_1 w_{1..3} + i_2 w_{2..3} + i_3 w_{3..} + \text{etc.} + i_n w_{3..n} \\
 & + Q_{1..3} \frac{di_1}{dt} + Q_{2..3} \frac{di_2}{dt} + P_3 \frac{di_3}{dt} + \text{etc.} + Q_{3..n} \frac{di_n}{dt} \\
 & \text{etc.} \qquad \qquad \qquad \text{etc.} \\
 & A_n = i_1 w_{1..n} + i_2 w_{2..n} + i_3 w_{3..n} + \text{etc.} + i_n w_{n..} \\
 & + Q_{1..n} \frac{di_1}{dt} + Q_{2..n} \frac{di_2}{dt} + Q_{3..n} \frac{di_3}{dt} + \text{etc.} + P_n \frac{di_n}{dt}
 \end{aligned} \right\}
 \end{aligned}$$

Das zweite System der von Kirchhoff aufgestellten Gleichungen, welche aussprechen, daß die algebraische Summe sämtlicher in einem Kreuzungspunkt der Zweige zusammenfließender Intensitäten gleich sey, wird bei der

angegebenen Zerlegung von selbst identisch, weil bei jedem Kreuzungspunkt jede Intensität der zugehörigen Umgänge einmal positiv als zuführend, und einmal negativ als abführend vorkommt. Das System der Gleichungen (4) genügt also für sich allein. Seine Integrale sind:

$$5) \begin{cases} i_1 = J_1 + c_{1..1} e^{\alpha_1 t} + c_{1..2} e^{\alpha_2 t} + c_{1..3} e^{\alpha_3 t} + \text{etc.} + c_{1..n} e^{\alpha_n t} \\ i_2 = J_2 + c_{2..1} e^{\alpha_1 t} + c_{2..2} e^{\alpha_2 t} + c_{2..3} e^{\alpha_3 t} + \text{etc.} + c_{2..n} e^{\alpha_n t} \\ i_3 = J_3 + c_{3..1} e^{\alpha_1 t} + c_{3..2} e^{\alpha_2 t} + c_{3..3} e^{\alpha_3 t} + \text{etc.} + c_{3..n} e^{\alpha_n t} \end{cases}$$

Die Größen J sind hierin diejenigen Werthe von i , welche bei fehlender Induction eintreten würden; man erhält sie, wenn man in den Gleichungen (4) die P und Q gleich Null setzt, und die Werthe der i sucht. Die n Größen α und die n^2 Größen c sind Constanten, deren Werthe sich in folgender Weise bestimmen: Man substituirt die Werthe der i und der $\frac{di}{dt}$ aus den Gleichungen (5) in die (4), und setze in jeder der n Gleichungen, welche für jeden Werth von t gelten müssen, die Coëfficienten von $e^{\alpha_1 t}$, von $e^{\alpha_2 t}$ u. s. w. einzeln gleich Null. Dadurch erhält man n^2 Gleichungen zwischen den Constanten von der Form

$$6) \left\{ \begin{array}{l} 0 = w_1 c_{1..n} + w_{1..2} c_{2..n} + w_{1..3} c_{3..n} + \text{etc.} \\ \quad + \alpha_n [P_1 c_{1..n} + Q_{1..2} c_{2..n} + Q_{1..3} c_{3..n} + \text{etc.}] \\ \\ 0 = w_{1..2} c_{1..n} + w_1 c_{2..n} + w_{2..3} c_{3..n} + \text{etc.} \\ \quad + \alpha_n [Q_{1..2} c_{1..n} + P_2 c_{2..n} + Q_{2..3} c_{3..n} + \text{etc.}] \\ \\ 0 = w_{1..3} c_{1..n} + w_{2..3} c_{2..n} + w_3 c_{3..n} + \text{etc.} \\ \quad + \alpha_n [Q_{1..3} c_{1..n} + Q_{2..3} c_{2..n} + P_3 c_{3..n} + \text{etc.}] \end{array} \right.$$

Außerdem erhält man noch n Bestimmungsgleichungen, wenn man in den Gleichungen (5) die Zeit $t=0$ setzt, und für i_1 bis i_n die entsprechenden Anfangswerthe derselben. Dann hat man zur Bestimmung der $(n^2 + n)$ Constanten ebenso viele Bedingungsgleichungen, wodurch die Lösung der Aufgabe vollständig bedingt wird. Die Eliminationsgleichung, welche man zur Bestimmung von α_n aus den n Gleichungen des Systems (6), welche α_n und $c_{1..n}$ bis $c_{n..n}$ enthalten, durch Elimination der Größen c bekommt, ist

vom n^{ten} Grade, ihre n Wurzeln entsprechen den n Gröfsen α . Dafs alle diese Wurzeln stets reell sind, läfst sich beweisen. Da der Beweis aber sehr weitläufig ist, genüge es hier auf einen ähnlichen zu verweisen, den Cauchy in den *Exerc. de Mathém. Tome IV. p. 140* (*Sur l'équation à l'aide de laquelle on détermine les inégalités séculaires des mouvements des planètes*) für ein etwas einfacheres System als unser (6) führt. Doch läfst sich letzteres auf das von Cauchy zurückführen. Die Frage, ob wohl alle Wurzeln reell sind, ist deshalb von Interesse, weil imaginären Exponenten eine Wellenbewegung der Elektricität entsprechen würde. Sie müssen ausserdem immer negativ seyn, weil sonst für $t = \infty$ auch die Gröfsen i unendlich grofs werden würden.

Die Zerlegung der vorhandenen Strömungen in die Einzelströme der Umgänge war im Allgemeinen nöthig, weil nur geschlossenen Räumen eine Potential zukommt. Liegen aber die Verzweigungen der Leitung nicht innerhalb der Spiralen, sondern ausserhalb, so kann man jede Spirale als einen geschlossenen Umgang ansehen, dem eine Potential zukommt, und die Inductionskräfte der ausgestreckten Stromtheile dagegen vernachlässigen. Man braucht alsdann die Ströme nicht nach den Umgängen zu zerlegen, sondern kann unmittelbar die Formeln von Kirchhoff für die Intensitäten in den einzelnen Zweigen anwenden, indem man nur die Spiralen als den Sitz der inducirten elektromotorischen Kräfte ansieht, und diese in die Rechnung einführt.

Ich gehe jetzt zur Beschreibung der Versuche über, durch welche ich die Anwendbarkeit der gegebenen theoretischen Ableitungen geprüft habe. Bei diesen Versuchen wird die Zeit nicht direct gemessen, sondern aus den Wirkungen der Ströme auf einen Magnet nach einer hier nöthig gewordenen Modification der Methode von Pouillet berechnet. Das Princip der meisten meiner Versuche ist folgendes. Ich bestimme die Wirkung, welche der ansteigende Strom, während einer gewissen, vorläufig noch

unbekannten Zeitdauer hervorbringt, und dann die Intensität, welche er im Augenblicke der Unterbrechung erlangt hatte. Aus einer Reihe von solchen zusammengehörigen Werthen der Intensität und ihres Integrals nach der Zeit läßt sich dann bestimmen, welche Function der Zeit die Intensität sey.

Für die Versuche habe ich eine neue Art von galvanischer Wippe gebraucht, welche bezweckt, verschiedene Stromleitungen in sehr kurz auf einander folgenden Augenblicken zu schliessen oder zu öffnen. Dieselbe ist dargestellt in Fig. 9 Taf. III. von oben gesehen, in Fig. 8 der Querschnitt *AB*. Auf dem Brettchen *CCDD* (0,126 Met. lang, 0,197 Met. breit) sind drei horizontale zweiarmlige in Spitzen drehbare Hebel angebracht; welche ihrer Hauptmasse nach aus Elfenbein bestehen. In den Figuren ist Elfenbein durch feine Punktirung angedeutet. Der größte und oberste der Hebel *aa'bb'* hat seine Axe bei *oo*; die beiden anderen *cd* stehen rechtwinkelig gegen ihn, so daß sich ihre Enden *c* unterhalb des Endes *aa* von jenem befinden, und haben ihre Axen bei *ee*. Jeder der beiden trägt je zwei von einander isolirte Metallstücke, welche verschiedenen Stromleitungen angehören. Ihre nach außen gewendeten Hälften tragen nämlich zunächst der Axe die Drahtklemme *g*, welche durch eine auf dem Elfenbein befestigte Messingplatte, mit der am äußeren Ende befindlichen Schraube *d* in leitender Verbindung steht. Letztere ist durch eine Gegenmutter festzustellen, endet unten in einer Kuppe von Gold, welche auf dem am Brette befestigten Goldplättchen *i* ruht. Dieses steht mit der Klemmschraube *k* und dem Quecksilbernäpfchen *p* in Verbindung. Die Klemmschraube *g* dagegen trägt einen Draht, welcher in das Quecksilber des Näpfchens *q* taucht. Die metallische Leitung ist zwischen dem Näpfchen *p* und *q* also hergestellt, so lange das untere Ende der Schraube *d* auf dem Plättchen *i* ruht. Diese Berührung wird durch die Feder *ll* unterhalten. Ebenso trägt die andere Hälfte eines jeden der beiden Hebelchen eine Leitung, welche mit dem Quecksilber-

näpfchen *r* anfängt, durch den Draht *rf* zu der dem Hebel angehörigen Drahtklemme *f* und dann zu dem Goldplättchen *c* am mittleren Ende des Hebels geht. Ihre Fortsetzung liegt auf dem oberen Hebel. Jedem Plättchen *c* entspricht an diesem eine Schraube *m*, von derselben Art wie *d*, mit Gegenmutter und Goldkuppe, welche mit der Drahtklemme *n* und durch den Draht *ns* mit den Quecksilbergefäßen *s* in leitender Verbindung steht. Sinkt das Ende *aa* des Hebels *aabb* herab, so stoßen die Kuppen der Schrauben *m* auf die Goldplatten *c*, und es werden die Näpfe *r* und *s* in leitende Verbindung gebracht. Der Hebel trägt am Ende *a* an zwei Stahlstäben das Gewicht *E* (87 Grm. schwer), dessen Gestalt aus Fig. 10 Taf. III. *E* erhellt. Es kann auf den Stäben verschoben, und an jeder beliebigen Stelle durch Anziehen des Schraubenkopfes festgeklemt werden. Am Ende *b* befindet sich der stählerne pyramidalische Fortsatz *t*, dessen Spitze von unten gegen die horizontale Stahlplatte *u* drückt. Diese wird von dem Hebel *uw* getragen, welcher bei *v* um eine verticale Axe drehbar ist. Drückt man den Griff *w*, dessen Bewegungen durch die Schrauben *x* möglichst beschränkt werden, nach links herüber, so wird die Spitze von *t* frei, und vermöge der Schwere des Gewichtes fallen die Schrauben *m* auf die Enden *c* der kleineren Hebel, drücken diese nieder, während sich die Schrauben *d* von den zugehörigen Platten abheben, so daß die beiden Leitungen *rs* geschlossen, die *pq* aber unterbrochen werden. Uebereinander geschichtete Kautschuk- und Lederplatten *hh* nehmen den Stofs auf, und verhindern das Zurückspringen.

Beim Gebrauch werden die beiden Schrauben *m* so gestellt, daß sie nicht ganz gleichzeitig auf die Platten *c* auftreffen. Da die Auslösung des oberen Hebels möglichst gleichförmig geschieht, und alle Umstände während des Fallens immer dieselben sind, so bleibt auch bei unveränderter Stellung der Schrauben die Zwischenzeit der beiden Stöße ziemlich gleich, und erlaubt die Vergleichung der Wirkungen, welche elektrische Ströme bei verschiedener An-

An-

Anordnung der Schliessung und Oeffnung ihrer Leitungen während dieser Zeit hervorbringen. Durch Veränderung in der Stellung der Schrauben kann die Zwischenzeit leicht bis auf $\frac{1}{1000}$ Sekunde und weniger vermindert werden, während die Abweichungen der einzelnen Versuche selten über $\frac{1}{4}$ ihrer mittleren Grösse gehen. Bei jedem Stosse wird eine Leitung des zugehörigen unteren Hebels geschlossen, die andere geöffnet. Letzteres geschieht nicht genau gleichzeitig mit ersterem, sondern wie ich als Resultat der Versuche hier gleich anführen will, etwa $\frac{1}{1000}$ Sekunde später, weil der Stoss Zeit gebraucht, sich durch die Masse des Elfenbeins hin fortzupflanzen.

Da die Berührungsstellen der Goldkuppen und Goldplatten dem Strome einen sehr veränderlichen Widerstand entgegenstellen, muss man die Widerstände der übrigen Leitungen stets so gross machen, dass jene Ungleichheit dagegen verschwindet. Ferner muss man sich versichern, dass kein Klirren der Metalltheile an den Schliessungsstellen vorkomme. Das geschieht am besten durch eine kräftig durchströmte Spirale, deren Extracurrent bei der Unterbrechung des Stromes in einer Nebenleitung eine merkliche physiologische Wirkung hervorzubringen vermag. Bezeichnen wir die Theile derjenigen Seite des Apparates wo der erste Stoss stattfindet mit einem Striche, die der anderen mit zweien, so leite man den Strom der Spirale durch $p, q,$, verbinde $p,$ durch einen Draht mit $s,$ und $q,$ mit $r.$ Lässt man den oberen Hebel fallen, so bleibt bei der Unterbrechung der Leitung $p, q,$ der Strom der Spirale durch $p, s, n, m, c, f, r, q,$ geschlossen. Klirren die Metallstücke nicht auf einander, so erfolgt auch kein Schlag; wohl aber zeigt sich dieser beim allerleisesten Klirren. Ebenso controllirt man die zweite Seite der Wippe. Kommt es bei der ersten Seite, wie es gewöhnlich der Fall ist, nur darauf an, die leitende Berührung bis zu dem Augenblicke zu unterhalten, wo $p, q,$ unterbrochen wird, so führt man die Leitung des Extracurrents durch diese Stelle. Sollte dann auch noch nach dem zweiten Stosse

die erste Unterbrechungsstelle klirren, so fühlt man keine Wirkung von dem Extracurrent, weil dieser keine Leitung mehr hat.

Die bisher beschriebene Form des Instruments ist sehr brauchbar, wo es sich um eine angenäherte Zeitbestimmung einzelner, namentlich sehr schnell vorübergehender Stromvorgänge handelt, und es läßt sehr mannigfaltige Combinationen von Oeffnungen und Schließungen zu. Für genauere Messungsreihen, namentlich etwas größerer Zeiträume, konnte ich aber das Fallen des oberen Hebels trotz aller aufgewendeten Sorgfalt nicht regelmäfsig genug machen, und nur durch sehr häufige Wiederholung derselben Versuche erhielt ich Mittelzahlen, welche mit der Rechnung ziemlich gut stimmten. Ich habe deshalb zu solchen Zwecken die Wippe in der in Fig. 3 Taf. III. dargestellten Weise mit Benutzung ihrer Haupttheile angewendet. Die Stücke x , u , v , w und die Quecksilbernäpfe der Fig. 2 Taf. III. sind weggenommen, der obere Hebel umgewendet, so daß sein Ende aa nach dem Rande DD des Brettes sieht, letzteres in senkrechter Stellung, CC nach unten, befestigt. In der abgebildeten Stellung befindet sich der Hebel fast in labilem Gleichgewichte, und sein oberer Theil hat ein ganz geringes Uebergewicht nach der vom Brette abgewendeten Richtung. Er wird in dieser Lage durch den kleinen Elektromagnet $\vartheta\vartheta$ erhalten, dessen Eisenkern das am Hebel befestigte Eisenstückchen ηb festhält. Sobald der Strom in seiner Drahtumwicklung unterbrochen wird, setzt sich der Hebel in der sanftesten und gleichmäfsigsten Weise mit zunehmender Geschwindigkeit in Bewegung. Während seines Falles taucht zunächst die Platinspitze γ in die breite und sorgfältig rein erhaltene Quecksilberfläche $\zeta\zeta$ ein. In diese Spitze endigt der horizontale, aus starkem Kupferdraht angefertigte Hebelarm $\beta\gamma$, der durch die Klemmschrauben nn und das Querholz ka befestigt ist; ein kupferner Ansatz δ dieses Armes taucht dauernd in das Quecksilber des Näpfchens ϵ . Im Momente der Berührung von γ und ζ wird also die Leitung zwischen ϵ und ζ herge-

stellt. Indem der Hebel weiter fällt, stößt endlich die Kuppe unterhalb seines Endes *b* auf eines der Plättchen *c*, und löst dadurch die Leitung am andern Ende des zugehörigen untern Hebels aus. Das Aufstoßen geschieht wegen des geringeren Uebergewichts hier stets mit kleinen Rücksprüngen, so daß die leitende Verbindung zwischen *b* und *c* für die Versuche nicht zu gebrauchen ist. Bei dieser Anordnung schließt der Apparat also zuerst eine Leitung und einen Augenblick später öffnet er eine andere; eine andere Combination kann er nicht ausführen. Da aber die Hauptstörungen der regelmässigen Bewegung des oberen Hebels, welche von der Art seiner Auslösung und von dem Stosse halbelastischer Körper gegen einander herrührten, so weit es nöthig ist beseitigt sind, so vollführt er seine Aufgabe mit viel gröfserer Regelmässigkeit, welche eine genauere Bestätigung der theoretisch gefundenen Gesetze zuläfst. Natürlich mufs jede Erschütterung der Quecksilberfläche vermieden werden, selbst eine so kleine, wie ein fern fahrender Wagen verursacht. Ich habe deshalb die Messungsreihen des Abends vollführt. Verändern konnte ich die Zwischenzeit durch Vermehrung oder Verminderung des Quecksilbers.

Das Ansteigen der Stromintensität in einer einfachen Leitung mit einer Spirale konnte nur mittels der ersten Form der Wippe untersucht werden, das in einer verzweigten Leitung dagegen auch mit der zweiten. Aus den vorher angegebenen Ursachen waren die ersteren Versuche viel weniger genau als die zweiten, ihre Ergebnisse sind aber für später zu beschreibende mit derselben Form der Wippe ausgeführte Versuche nothwendig. Ich werde die Art ihrer Anstellung deshalb hier kurz beschreiben.

Der Kreis wurde gebildet durch vier Daniell'sche Elemente und das Multiplicatorgewinde, welches ich zu den zeitmessenden physiologischen Versuchen gebraucht hatte. Sein Widerstand war wegen der Länge und Feinheit seines Drahts 30mal so grofs, als der der Batterie. Es diente gleichzeitig als inducirende Spirale und als Galvanometer;

neben ihm hing ein Magnet mit Spiegel. Für die Berechnung der Stromintegrale aus den Schwingungen des Magnets ist es am vortheilhaftesten vor dem Versuche den Schwingungsbogen möglichst klein zu machen, und den Strom in dem Augenblicke eintreten zu lassen, wo der Magnet durch den Meridian in solcher Richtung hindurchgeht, daß der Strom seine Bewegung beschleunigt. Nennen wir i die Intensität des Stromes in der Spirale in Scalentheilen gemessen, b_1 den Ausschlag des Magnets vor, b_2 denselben nach Einwirkung des Stromes, T die Schwingungsdauer, so ist für kleine Ausschläge und eine kleine Stromesdauer

$$\int i dt = \frac{T(b_2 - b_1)}{2\pi} \quad 7).$$

Mit F sind im Folgenden die Differenzen $(b_2 - b_1)$ bezeichnet, welche erhalten wurden, wenn der Strom durch die erste Schließung der Wippe geschlossen und durch die zweite Oeffnung derselben unterbrochen worden war, mit G dagegen diejenigen, bei denen außerdem durch die zweite Schließung eine Nebenschließung der Spirale geschlossen wurde, welche denselben Widerstand hatte als die Batterie. Letztere Bedingung war leicht hinreichend genau zu erfüllen, da die Schwankungen des Widerstandes der Elemente gegen den der ganzen Leitung sehr unbedeutend waren. Es bezeichne W den Widerstand der Spirale und Batterie zusammengekommen, und w den der Batterie und den ihr gleichen der Nebenschließung. Aus (7) und (3) ergibt sich

$$F = \frac{2\pi A}{TW} \left\{ t - \frac{P}{W} \left(1 - e^{-\frac{W}{P}t} \right) \right\} \quad 8).$$

Die Wirkung G ist um den Extracurrent größer, welcher sich hier durch die Nebenschließung ergießen kann; derselbe ist gleich $\frac{iP}{W}$, was zu F addirt giebt

$$G = \frac{2\pi A}{TW} t.$$

Berücksichtigt man, daß die Nebenschließung um die Zeit z früher geschlossen, als die der Batterie unterbrochen wird, so findet man mit Weglassung der mit den höheren Dimensionen der kleinen Größen z und $\frac{w}{W}$ multiplicirten Glieder

$$G = \frac{2\pi A}{TW} \left\{ t - \frac{z}{2} \right\} \quad 9).$$

Um die Größe z , die Fortpflanzungszeit des Stosses durch das Elfenbein des zweiten unteren Hebels, zu finden, wurden die Wirkungen f des Stromes beobachtet, wenn er durch die zweite Schließung geschlossen, durch die zweite Lösung unterbrochen wurde. Es ist

$$f = \frac{2\pi A}{TW} \left\{ z - \frac{P}{W} \left(1 - e^{-\frac{W}{P}z} \right) \right\}.$$

Daraus ergibt sich angenähert

$$z^2 = \frac{PfT}{\pi A} \quad 10).$$

Die nicht ganz constanten Größen A und W wurden durch Ablenkungsversuche ermittelt, bei denen nur $\frac{1}{142,06}$ des Stromes durch den Multiplicator kreiste, weil der ganze zu heftig auf den Magnet wirkte. Ihre Veränderungen waren sehr unbedeutend. Um z zu finden, habe ich zunächst aus denjenigen Beobachtungen, wo t einen hohen Werth hatte, und deshalb das Glied mit t im Exponenten in Gleichung (8) sehr klein wird, einen angenäherten Werth von P gesucht; mit dessen Hülfe erhält man aus (10) leicht einen hinreichend genauen Werth von z , um in einer zweiten Annäherung die Werthe zu finden, mittelst deren die Berechnung ausgeführt ist, deren Resultate ich hier zusammenstelle.

No.	G		F			Differenz.	Zeit in 100 Sekund. berechnet.
	Zahl der Ver- suche.	beob- achtet.	Zahl der Ver- suche.	beob- achtet.	aus G berechnet.		
11	8	0,981	8	0,356	0,324	+0,032	0,038
4	24	2,286	22	0,920	0,870	+0,050	0,068
3	16	2,950	32	1,167	1,229	-0,062	0,083
2	17	3,869	32	1,950	1,797	+0,153	0,103
10	15	4,076	20	1,120	1,928	+0,192	0,108
7	6	6,500	13	3,723	3,724	-0,001	0,162
5	14	10,502	11	7,178	7,213	-0,035	0,252
13	12	10,867	12	7,862	7,550	+0,312	0,260
1	8	10,865	15	7,887	7,750	+0,137	0,261
6	11	15,876	16	12,731	12,336	+0,395	0,372
12	17	16,212	12	12,995	12,679	+0,316	0,381
14	11	16,267	7	12,725	12,734	-0,009	0,382
9	7	23,866	9	20,256	20,274	-0,018	0,556
8	10	24,762	8	21,062	21,101	-0,039	0,566

Die Fortpflanzungszeit des Stosses z fand sich 0,000337 Sekunden, ihr entsprach im Mittel von 14 Versuchen der Ausschlag $f=0,253$ Scalentheile. So kleine Ausschläge sind leider wegen der Luftströmungen im Magnetkasten schwer mit Sicherheit zu messen. Wenn der Schließungsgegenstrom der Multiplicatorspirale die Stromstärke nicht verminderte, würde dafür der Ausschlag 1,212 entstanden seyn. Die ganze Gröfse des Inductionsstromes beträgt bei dem entsprechenden Zustande der Batterie 4,323 Scalentheile.

Man ersieht aus der Gleichung (9), dafs der störende Einflufs des Inductionsstromes auf die Messungen der Zeit zwischen erster Schließung und zweiter Lösung der Wippe nach Pouillet's Methode durch die beschriebene Einschaltung einer Nebenleitung beseitigt werden kann. Will man die Zwischenzeit der anderen Zeitmomente der Wippe kennen lernen, so mufs man die Fortpflanzungszeit des Stosses durch das Elfenbein berücksichtigen, welche ich übrigens gleich gefunden habe, sowohl in beiden Hebeln als auch bei verschiedenen Stellungen der aufstossenden Schrau-

ben des oberen Hebels. Insbesondere ergibt sich aus den aufgestellten Formeln, was wir in der Folge noch gebrauchen werden, daß bei vollständiger Gleichzeitigkeit der ersten Lösung und zweiten Schließung, der zeitmessende Ausschlag, den man bei eingeschalteter Nebenleitung zwischen erster Schließung und zweiter Lösung erhält, 1,832 Scalentheile beträgt. Kleine Aenderungen in dem Zustande der Batterie haben auf so kleine Ausschläge kaum einen Einfluss.

Ich gehe nun zu den besseren Messungen über, welche ich mit der zweiten Form der Wippe und im verzweigten Schließungsdrahte angestellt habe. Der Apparat kann dabei nichts weiter ausführen als eine Stromeschließung, und nach einer gewissen kleinen Zwischenzeit eine Oeffnung. Die Stromleitung hatte drei Zweige. Der erste *a* enthielt die galvanische Batterie, acht Daniell'sche Elemente, je vier hinter, je zwei nebeneinander, der zweite *b* einen dünnen Platindraht von 1,5 Met. Länge, der zickzackförmig hin und her gebogen auf einem Brettchen befestigt war, so daß er keine merkliche inducirende Wirkung ausüben konnte, der dritte *c* eine möglichst eng gewickelte Spirale von 2 Pfund Kupferdraht. Sie bestand aus zwei parallel laufenden Drähten, jeder etwa 32 Met. lang, welche für diese Versuche hinter einander als ein Draht von 64 Met. in die Leitung eingefügt waren. Die Höhe der Spirale ist 40 Mllm., der Durchmesser des inneren Lumens 20 Mllm., der ihrer äußeren Peripherie 87 Mllm. Der fallende Hebel der Wippe schloß zunächst die Leitung *a*, und öffnete dann entweder *a* oder *c*. Im ersteren Falle konnte sich der Endgegenstrom der Spirale durch den Zweig *b* entladen; im letzteren wurde ihm jede Leitung abgeschnitten. Die Wirkung der Ströme wurde durch die Ablenkungen eines Magnetstäbchens gemessen, welches parallel der einen Grundfläche der Spirale an einem Coconfaden schwebte. Die Ausschläge des Magnetes wurden mit Hilfe von Spiegel, Scala und Fernrohr in der bekannten Weise beobachtet.

Für die Anwendung der zu prüfenden Gesetze auf die vorliegenden Versuche dürfen wir die inducirende Wirkung der außerhalb der Spirale liegenden einfachen Drahtleitungen vernachlässigen, und können die Inductionswirkung einer elektromotorischen Kraft gleich setzen, welche nur in dem Zweige c ihren Sitz hat. Bezeichnen wir mit p das Potential der Spirale, mit i_a, i_b, i_c die Intensitäten, mit w_a, w_b, w_c die Widerstände der drei Zweige a, b, c , mit A die elektromotorische Kraft der Batterie in a , so ist

$$i_a = i_b + i_c$$

$$A - i_a w_a = i_b w_b = i_c w_c + p \frac{d i_c}{d t}.$$

Durch Elimination von i_a und i_b erhalten wir:

$$A w_b = i_c (w_a w_b + w_a w_c + w_b w_c) + p (w_a + w_b) \frac{d i_c}{d t}.$$

Der Kürze wegen bezeichnen wir die Gröfse $w_a w_b + w_a w_c + w_b w_c$ mit N ; das Integral wird dann:

$$i_c = \frac{A w_b}{N} \left\{ 1 - e^{-\frac{N t}{p (w_a + w_b)}} \right\} \quad (11).$$

Daraus findet sich ferner

$$i_b = \frac{A}{w_a + w_b} - \frac{A w_a w_b}{N (w_a + w_b)} \left\{ 1 - e^{-\frac{N t}{p (w_a + w_b)}} \right\} \quad (12)$$

$$i_a = \frac{A}{w_a + w_b} - \frac{A w_b^2}{N (w_a + w_b)} \left\{ 1 - e^{-\frac{N t}{p (w_a + w_b)}} \right\} \quad (13).$$

Während also i_c von 0 an steigend sich asymptotisch dem Werthe nähert, welcher ihm dauernd in dem verzweigten Systeme zukommt, haben i_b und i_a anfangs den Werth, welcher ihnen bei Abwesenheit der Leitung a zukommen würde, ersteres sinkt, letzteres steigt zu dem Werthe, welcher der dreitheiligen Leitung entspricht.

Wir können am Magnet nur die Wirkung von i_c beobachten. Wenn bei der Unterbrechung des Stromes die Leitung c selbst geöffnet wird, haben wir nichts als die Wirkung des ansteigenden Stromstückes. Sey F die

Differenz der Ausschläge des Magnetes, dann ist nach (7) und (11):

$$\frac{TF}{2\pi} = \int_0^t i \, dt = \frac{Aw_b}{N} t - \frac{Aw_b(w_a + w_b)p}{N^2} \left\{ 1 - e^{-\frac{Nt}{p(w_a + w_b)}} \right\}$$

Bezeichnen wir den Werth von i , zur Zeit der Unterbrechung des Stromes mit J_e , so ist

$$\frac{TF}{2\pi} = \frac{Aw_b}{N} t - \frac{(w_a + w_b)p}{N} J_e \quad 14).$$

Wird dagegen nicht die Leitung c , sondern a unterbrochen, so ist bis zum Augenblicke der Unterbrechung der Verlauf der Ströme ganz derselbe wie im ersten Falle, nachher aber bildet sich ein Extracurrent in der Leitung b und c , dessen Gröfse der Intensität, welche im Augenblicke der Unterbrechung in der Spirale stattfindet, proportional seyn mufs. Dadurch wird die Gesamtwirkung G auf den Magnet gröfser als F in dem vorigen Falle. Wie oben in Gleichung (1) ergibt sich:

$$\frac{T(G - F)}{2\pi} = \frac{pJ_e}{w_b + w_c} \quad 15).$$

Um die Gleichungen (14) und (15) zur Berechnung der Versuche geschickter zu machen, setzen wir

$$\left. \begin{aligned} \frac{(G - F)N}{(w_b + w_c)AC} &= E \\ \frac{FN^2}{(w_a + w_b)(w_b + w_c)^2AC} + E &= z \end{aligned} \right\} \quad 16)$$

$$\frac{2\pi p \cdot w_b}{TC(w_b + w_c)^2} = a \quad 17).$$

Darin ist C eine vorläufig willkürliche Constante. Es ist alsdann

$$E = a \left[1 - e^{-\frac{z}{a}} \right] \quad 18).$$

Die Werthe von E und z lassen sich aus den einzelnen zusammengehörigen Werthen von F und G berechnen, wenn die dazu gehörigen von w_a , w_b , w_c und A gegeben sind. Die Widerstände der Drähte w_b und w_c sind bei

allen einzelnen Versuchen dieselben, und im Vergleich zu einem als willkürliche Einheit gebrauchten Drahte b bestimmt worden. Es fand sich:

$$w_s = 2,7266 \, b$$

$$w_e = 2,5146 \, b.$$

In w_s ist aber der veränderliche Widerstand der Kette einbegriffen, und diese Gröfse mußte deshalb ebenso wie die elektromotorische Kraft A durch besondere, zwischen die Inductionsversuche eingeschaltete Intensitätsmessungen bestimmt werden. Da der Strom der Batterie bei derjenigen Anordnung der Leitung, welche für die Inductionsversuche diente, viel zu heftig auf den Magnet wirkte, um dauernde Ablenkungen beobachten zu können, wurden statt des Zweiges c (der Spirale) zwei andere Drahtstücke m und q eingeschaltet, und die Spirale endlich wieder als Nebenleitung von q , so dafs nur ein sehr kleiner Theil des Stromes hindurchging. Bei dieser Anordnung beobachtete ich die Intensität einmal (J_1) ohne weitere Einschaltung, dann (J_2) mit Einschaltung des Drahts b in die Leitung a . Es ist:

$$m = 2,8141 \, b$$

$$q = 0,0193 \, b.$$

$$w_s = \left[\frac{J_2}{J_1 - J_2} - 1,3848 \right] b$$

$$A = \frac{J_1 J_2 (w_s + m + q) (w_e + q)}{(J_1 - J_2) w_s q} b.$$

Dadurch sind alle zur Berechnung von E und z nöthigen Data gegeben. Die Constante C setzte ich, um die Rechnung möglichst zu vereinfachen:

$$C = \frac{w_s q}{(w_s + m + q)(w_e + q)}.$$

Dann ist:

$$A C = \frac{J_1 J_2}{J_1 - J_2} b.$$

Der Werth der Constante a der Gleichung (17) ist nur von Gröfsen abhängig, welche bei allen Versuchen dieselben bleiben. Unter diesen kommt die Potentialgröfse p

vor, welche nicht wohl anders als aus den Resultaten der Inductionsversuche bestimmt werden kann. Ich habe deshalb den passendsten Werth für a nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet. Streng genommen müßte das so geschehen, daß die Werthe von F , welche nach den zugehörigen von G berechnet werden, möglichst wenig von den beobachteten abweichen, indessen ist die Abhängigkeit zwischen F und G , welche in der Gleichung (18) mit Berücksichtigung von (16) ausgesprochen wird, so verwickelt, daß weder F durch G , noch G durch F geschlossen ausgedrückt werden kann. Die Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate macht deshalb große Weitläufigkeiten. Ich habe vielmehr die Rechnung so geführt, daß die Werthe von E aus z berechnet, möglichst wenig von denen, welche die erste der Gleichungen (16) aus den Beobachtungen giebt, abweichen. Das Resultat kann sich nicht wesentlich von dem der strengeren Rechnung unterscheiden, weil die Fehler von E denen von F nahehin proportional sind, und die letzteren wenig Einfluß auf die Größe z haben. Das F hebt sich nämlich aus der zweiten Gleichung (16) bis auf einen verhältnißmäßig kleinen Rest heraus. Aus den Fehlern von E können dann schließlich die von F mit hinreichender Genauigkeit leicht berechnet werden. Den Werth der Constante a fand ich auf diese Weise für die folgende Versuchsreihe

$$a = 0,087058.$$

Ueber die in der folgenden Tafel zusammengestellten Zahlen ist noch zu bemerken: Die Intensitäten J_1 und J_2 sind bei der vorher beschriebenen Anordnung der Leitung ermittelt worden durch je eine Bestimmung der Stellung des Magnetes bei kreisendem Strome. Jede dieser Bestimmungen beruht wiederum auf 5 Ablesungen der Schwingungsgrößen. Die Correctionen wegen der Verwandlung der abgelesenen Tangenten des doppelten Winkels in doppelte Tangenten des einfachen Ablenkungswinkels sind angebracht. Bei den Inductionsversuchen bezeichnen F und G die durch die Stromwirkung hervorgebrachten Vergrö-

ferungen des Ausschlags, d. h. des halben Schwingungsbogens. Jede dieser Zahlen beruht auf 2 Ablesungen der Schwingungsgrößen vor und 5 solchen nach der Einwirkung des Stroms. Nach Beendigung dieser Ablesungen wurde der Magnet durch einen seiner Bewegung entgegenwirkenden Strom von gleicher Größe, wie der welcher ihn in Bewegung gesetzt hatte, wieder in sehr kleine Schwingungen zurückgebracht. Die sehr kleinen Correctionen wegen der Tangenten und der Abnahme der Schwingungsbögen sind angebracht. Erstere betragen nur wenige Hunderttheile, letztere höchstens nur ein Drittel eines Scalentheils. Neben den beobachteten Werthen von F befinden sich diejenigen, welche nach der Rechnung den zugehörigen Werthen von G entsprechen. Die Versuchsgruppen 1 bis 5 sind in unmittelbarer Folge hinter einander ange stellt, ebenso 6 bis 12, und in der Reihenfolge ihrer An stellung aufgeführt worden.

	Beobachtete Werthe von		Mittel der beob- achteten Werthe		Berechn. Werthe von F .	Differen- zen.	Zeit in Sekunden.
	G .	F .	G .	F .			
J_1	151,12						
J_2	109,29						
1	80,85	67,21	80,775	67,243	67,391	- 0,148	0,01569
	80,70	67,36					
	80,80	67,16					
	80,75						
J_3	109,92						
J_1	152,66						
2	70,98	56,71	70,567	56,877	57,234	- 0,357	0,01379
	70,08	57,26					
	70,38	56,66					
	70,83						
J_1	153,12						
J_3	110,09						
3	58,39	45,37	58,640	45,470	45,562	- 0,092	0,01163
	58,79	45,47					
	58,64	45,57					
	58,74						
J_2	111,26						
J_1	153,06						

	Beobachtete Werthe von		Mittel der beob- achteten Werthe		Berechn. Werthe von F.	Differen- zen.	Zeit in Sekunden.
	G.	F.	G.	F.			
4	50,15 50,90 50,45 50,95	38,09 38,14 38,14	50,613	38,123	37,836	+0,287	0,01018
J_1	152,66						
J_2	110,88						
5	40,92 40,82 40,97 41,07	28,75 28,85 28,75	40,945	28,783	28,727	+0,056	0,00844
J_2	110,76						
J_1	152,20						
J_1	149,05						
J_2	108,97						
6	40,12 39,52 39,57 39,62	27,80 27,65 27,50	39,708	27,650	27,756	-0,106	0,00854
J_2	109,39						
J_1	149,62						
7	28,75 29,20 29,10 29,05	18,41 18,56 18,11	29,025	18,360	18,086	+0,274	0,00629
J_1	150,22						
J_2	109,52						
8	20,26 20,66 20,56 20,76	11,39 10,99 11,09	20,560	11,157	10,998	+0,159	0,00463
J_2	109,51						
J_1	150,19						
9	12,09 12,84 13,19 13,09	5,27 5,27 5,57	12,802	5,370	5,317	+0,053	0,00303
J_1	150,27						
J_2	109,53						
10	7,77 8,12 8,12 8,32 8,47	2,76 2,71 2,66 2,81	8,160	2,735	2,551	+0,184	0,00201
J_2	109,32						
J_1	149,50						

Die Uebereinstimmung zwischen Rechnung und Beobachtung scheint hinreichend groß, um die Richtigkeit der aufgestellten Theorie zu beweisen. Die Abweichungen zwischen beiden sind kleiner als die der einzelnen Beobachtungen unter einander, zeigen aber noch eine gewisse Regelmäßigkeit, welche vielleicht von Fehlern der Widerstandsmessungen, oder davon herrühren mag, daß bei Unterbrechung der Spiralenleitung der Extracurrent doch nicht ganz so vollständig ausgeschlossen wurde, als wir angenommen haben. Der letztere fließt wenigstens noch so lange, als der Funke dauert. Dessen Dauer ist zwar bisher noch immer verschwindend klein gefunden worden, da es in unsern Untersuchungen aber auf Hunderttausendtheile von Sekunden ankommt, kann es noch zweifelhaft erscheinen, ob sie nicht genüge die elektromotorische Wirkung in den Zehnteln der Scalentheile zu verändern.

Wir haben bei dem eingeschlagenen Verfahren das aufgestellte Gesetz über den Verlauf des Inductionstromes nicht direct geprüft, d. h. wir haben nicht die Intensität als Function der Zeit bestimmt, sondern wir haben nur die Abhängigkeit zwischen der Intensität und ihrem Integral nach der Zeit bestimmt. Es könnte noch gefragt werden, ob dieses Verfahren nicht eine Zweideutigkeit zulasse, ob nicht auch eine andere Function der Zeit dieselbe Abhängigkeit zwischen ihr selbst und ihrem Integral gebe. Ich will deshalb noch beweisen, daß durch die experimentell erwiesene Abhängigkeit zwischen F und G auch i als Function von t vollkommen und eindeutig bestimmt sey.

Als erwiesen durch die Versuche betrachten wir die Abhängigkeit zwischen G und F , welche ausgesprochen ist durch die Gleichungen (16) und (18)

$$\left. \begin{aligned} \frac{(G-F)N}{(w_s + w_c)AC} &= E \\ \frac{FN^2}{(w_s + w_c)(w_s + w_c)^2 AC} + E &= z \end{aligned} \right\} 16)$$

und mit einer leichten Umformung:

$$\log \left[1 - \frac{E}{a} \right] = - \frac{z}{a} \quad 18).$$

Darin ist C eine beliebige Constante, und a eine solche deren Bedeutung wir noch zu bestimmen haben werden. Dazu kommt noch die Gleichung

$$F = \frac{2\pi}{T} \int_0^t i_e dt \quad 19),$$

welche auf bekannten elektromagnetischen Gesetzen beruht, und endlich die Gleichung (15):

$$G - F = \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{pi_e}{(w_s + w_e)} \quad 15),$$

welche durch die bekannten Gesetze über die ganze GröÙe des Oeffnungsgegenstromes gegeben ist. Darin bedeutet i_e den Werth dieser Variablen zur Zeit der Unterbrechung. Durch Differentiiren nach t geben diese Gleichungen:

$$\begin{aligned} \frac{d(G-F)}{dt} \cdot \frac{N}{(w_s + w_e) AC} &= \frac{dE}{dt} \\ \frac{dF}{dt} \cdot \frac{N^2}{(w_s + w_e)(w_s + w_e)^2 AC} &= \frac{dz}{dt} - \frac{dE}{dt} \\ a \frac{dE}{dt} &= (a - E) \frac{dz}{dt} \\ \frac{dF}{dt} &= \frac{2\pi i_e}{T} \end{aligned}$$

$$\frac{d(G-F)}{dt} = \frac{2\pi p}{T(w_s + w_e)} \frac{di_e}{dt}.$$

Eliminirt man aus diesen Gleichungen F , G , E und z , so bekommt man folgende Differentialgleichung für i_e :

$$\frac{2\pi p N}{a(w_s + w_e)^2 AC T} \frac{di_e}{dt} = \frac{N}{(w_s + w_e)p} \left[1 - \frac{2\pi p N}{a(w_s + w_e)^2 AC T} i_e \right].$$

Deren vollständiges Integral ist:

$$i_e = \frac{a(w_s + w_e)^2 AC T}{2\pi p N} \left[1 - e^{-\frac{N(t+b)}{p(w_s + w_e)}} \right] \quad 20),$$

wo b die Integrationsconstante ist. Setzen wir wie früher t für den Zeitpunkt gleich 0, wo auch i_e gleich 0 ist, so wird b ebenfalls 0. Dann stimmt die Gleichung (20) mit

der theoretisch entwickelten (11) überein bis auf den Factor, mit dem der eingeklammerte Ausdruck multiplicirt ist. Dieser Factor ist aber, wie sich aus der Form beider Gleichungen sogleich ergibt, diejenige Stromgröfse, welche nach Verlauf des Inductionsstroms constant bestehen bleibt, und deren Gröfse durch das Ohm'sche Gesetz gegeben ist

$$= \frac{Aw_b}{N}.$$

Wir müssen also setzen

$$\frac{a(w_b + w_e)^2 ACT}{2\pi p N} = \frac{Aw_b}{N},$$

wodurch einmal die Gleichung (20) vollkommen identisch wird mit (11), und sich der Werth von a ganz ebenso wie in der theoretisch abgeleiteten Gleichung (17) bestimmt

$$a = \frac{2\pi p w_b}{TC(w_b + w_e)^2}$$

Somit ist der Beweis vollendet, dafs i , keine andere Function von t seyn könne, als die in der Gleichung (11) hingestellte.

Dadurch wird es auch möglich und gerechtfertigt, mit Hülfe der obigen Formeln die Zeitdauer in Sekunden zu berechnen, welche in unsern Versuchen der Schließung der Stromleitung entspricht. Die Zahlen finden sich in der letzten Rubrik der gegebenen Tafel.

Bei der Zeitmessungsmethode von Pouillet müssen die von uns gewonnenen Ergebnisse jedenfalls berücksichtigt werden, wenn sie zu genauen Resultaten führen soll. Sind die gemessenen Zeiträume gröfser als die Dauer des Schließungsgegenstromes, wie es bei den von mir ausgeführten physiologischen Messungen der Fall war, so genügt es zu allen nach Pouillet berechneten Zeiträumen eine kleine constante Correction zu addiren, welche erhalten wird, wenn man den Potentialwerth der Spirale durch den Widerstand der Leitung dividirt. Dieser Quotient betrug bei der Anordnung des Apparats, wie ich ihn für meine physiologischen Versuche beschrieben habe, 0,000983 Sekunden. Sind die Zeiträume aber kleiner, so genügt eine

eine constante Correction nicht mehr, sondern es muß dann die Ansteigungsform des Stromes berücksichtigt werden, zugleich werden die Messungen immer ungenauer und schwieriger, weil die elektromagnetische Wirkung in sehr viel größerem Verhältniß abnimmt als die Zeit. Für solche Messungen wird es also rathsam seyn, nicht zu eng gewundene Spiralen mit nicht zu vielen Windungen anzuwenden, und nöthigenfalls die elektromotorische Wirkung derselben durch Vergrößerung der Batterie zu verstärken, nicht aber durch Vermehrung der Windungen. Wo es ausführbar ist, möchte der beste Ausweg die Einschaltung einer Nebenleitung seyn, wie in unseren obigen Versuchen mit der Wippe.

Wir sind von der Voraussetzung ausgegangen, daß die inducirte elektromotorische Kraft in demselben Momente vorhanden sey, wo die inducirende Stromesschwankung stattfindet. Diese Annahme scheint durch die Uebereinstimmung der Versuche mit den Folgerungen des darauf basirten mathematischen Principes bestätigt zu werden. Ich habe noch einige directere Versuche angestellt, um zu erfahren, ob ein Zeitunterschied zwischen diesen Vorgängen wahrnehmbar zu machen sey.

Die beste Gelegenheit dazu bietet sich bei der Induction durch Unterbrechung eines Stromes, weil hier die Dauer der Stromesschwankung auf die Dauer des Funkens beschränkt ist. Man wähle zu solchen Versuchen eine Spirale, in welcher man sich von der vollständig guten Isolation aller Drahtwindungen überzeugt hat, am besten eine mit zwei neben einander gewickelten Drähten, weil man deren Isolation immer wieder prüfen kann. Ich gebrauchte die zweipfündige der obigen Versuchsreihe mit zwei Drähten, deren jeder 32 Met. lang war. Man berücksichtige ferner, daß sich innerhalb des elektrodynamischen Wirkungskreises der Spirale keine geschlossene Leitung finden darf, wovon der Grund sogleich ersichtlich werden wird. Die oben beschriebene Wippe macht es möglich, äußerst schnell nach der Unterbrechung des Stromes der

Spirale an der ersten Lösungsstelle, ihr an der zweiten Schließungsstelle statt der Leitung durch die Batterie eine andere durch einen Multiplikator oder durch den menschlichen Körper zu geben. Ich habe aber nie eine Wirkung auf den Magnet gesehen, oder einen Schlag gefühlt, wenn die geringste Zeit zwischen der Unterbrechung und Schließung der neuen Leitung verfloß. Wenn ich die Schrauben m des oberen Hebels der Wippe allmählig so verstellte, daß die Zwischenzeit immer kleiner und kleiner wurde, bis endlich Wirkungen eintraten, was stets am Magnet und am Körper gleichzeitig geschah, so fand ich den zeitmessenden Ausschlag des Magnetes, der zwischen erster Schließung und zweiter Lösung durch die zur Messung der Größen G in der ersten Versuchsreihe gebrauchte Anordnung bewirkt wurde, zwischen 1,73 und 1,83. Ich habe oben gezeigt, daß derselbe 1,832 seyn muß, wenn erste Lösung und zweite Schließung gleichzeitig erfolgen sollen. Auf die Unterschiede dieser drei Zahlen ist kein Gewicht zu legen, weil die genauere Messung so kleiner Ausschläge durch die Luftströmungen verhindert wird. Daraus geht hervor, daß keine durch die angewendeten elektromagnetischen Mittel meßbare Zeit zwischen der Oeffnung der Spirale und Schließung ihrer Nebenleitung vergehen darf, wenn noch Induction stattfinden soll. Ich glaube nach meinen Messungen behaupten zu dürfen, daß jedenfalls eine zehntausendtel Sekunde nach der Unterbrechung schon alle inducirende Wirkung verschwunden sey.

Ganz ebenso verhält es sich, wenn man zwei Spiralen hat, und die Leitung der einen erst geschlossen wird, unmittelbar nachdem der Strom in der anderen unterbrochen worden ist.

Meine Versuche stehen hier in directem Widerspruche mit Marianini¹⁾ und E. du Bois-Reymond²⁾, welche beide sehr beträchtliche Nachwirkungen unter Verhältnissen fanden, wo die Pause zwischen Oeffnung und Schlie-

1) *Ann. de Chim. et de Phys.* Juin 1844. t. XI. p. 395.

2) *Unters. über thier. Elekt.* Bd. I. S. 425.

fsung wahrscheinlich sehr viel grösser war, als bei mir. Ob die Spiralen beider Beobachter nicht hinlänglich gut isolirten?

Wenn dagegen zur Zeit der Unterbrechung des Stromes innerhalb seines elektrodynamischen Wirkungskreises sich eine geschlossene Leitung befindet, so entsteht in dieser ein inducirter Strom, welcher nach einer gewissen Zeit allmählig erlischt. Wird dann noch während der Dauer dieses Stroms entweder die erste inducirende Spirale oder eine dritte geschlossen, so können in diesen wiederum durch Vermittelung der zweiten Spirale Ströme erzeugt werden, welche dieselbe Richtung haben, als wären sie verspätete Wirkungen der ersten Stromunterbrechung. Solche Wirkungen zeigte z. B. die zweipfündige bifilare Spirale sehr kräftig, fast ebenso stark, als würde der directe Extracurrent beobachtet, wenn ich einen der Drähte zum Kreise schloß, durch den andern einen Strom gehen liefs, und kurz nach dessen Unterbrechung eine Nebenschließung einschaltete. Es folgt daraus, dafs auch die durch Unterbrechung des primären inducirten Ströme viel länger dauern, als die Unterbrechung selber.

Wenn in eine Spirale solide Eisenkerne eingeschoben werden, so müssen bei der Unterbrechung des Stromes in diesen inducirte Ströme entstehen, welche eine gewisse Zeit dauern, und das Eisen in demselben Sinne magnetisirt erhalten, als es der ursprüngliche Strom that. Es können demnach noch eine gewisse Zeit nach der Unterbrechung des primären Stroms Inductionen durch die secundären Ströme und den zurückgehaltenen Magnetismus erhalten werden. Man hat diese Nachwirkungen beim Eisen längst bemerkt, und sie von einer gewissen Trägheit der magnetischen Fluida herleiten zu müssen geglaubt. Um diefs zu prüfen, kam es darauf an, die Entstehung von Strömen in der Eisenmasse zu verhindern. Ich bildete mir daher einen Kern aus einem Bündel der feinsten Eisen-drähte, welche ich bekommen konnte, (sogenannten feinsten Blumendraht, 0,123 par. Linien dick) überzog jeden

Draht mit einer dünnen isolirenden Schicht aus einer Mischung von Wachs und Harz, und untersuchte mittels der Wippe die Nachwirkungen dieses und verschiedener anderer Drahtbündel, welche ich so stark gemacht hatte, daß sie alle Inductionsströme von ungefähr gleicher elektromagnetischer Wirkung (gleicher Quantität von Elektrizität) gaben. Es ergab sich sehr augenscheinlich, daß bei derselben Stellung der Wippe die Nachwirkungen desto größer waren, je dicker die Drähte, und bei dem feinen Blumendrahte fehlte jede Spur davon. Es konnte zwischen ihm und einer ganz leeren Spirale kein Unterschied in dieser Beziehung gefunden werden, obgleich die inducirten Ströme mit dem Drahtbündel viermal stärker waren, als ohne dasselbe. Daraus folgt, daß in linearen Eisenstücken sich die Gleichgewichtsstände der magnetischen Vertheilung in unmeßbar kleiner Zeit herstellen können. Diefes geschieht in Stücken von beträchtlicher Ausdehnung nach drei Dimensionen, wie wir gezeigt haben, schon wegen der dabei erregten elektrischen Strömungen niemals. Wieviel andere Einflüsse z. B. Mischung des Eisens, die Schwierigkeit der Wirkung auf das Innere der Masse dabei mitwirken mögen, müssen wir dahin gestellt seyn lassen. Daß solche andere Ursachen nicht ganz fehlen zeigen die Versuche von Faraday ¹⁾ über das oft minutenlange Ansteigen der Kraft in großen Elektromagneten, welche längere Zeit geruht haben.

Ueber die Schnelligkeit der Inductionsvorgänge im Momente einer plötzlichen Unterbrechung der Stromleitung geben uns die physiologischen Wirkungen in noch anderer Weise Anhaltspunkte. Es fließe in einer Spirale ein Strom von der Intensität J , ihr Potential gegen eine andere Spirale sey Q , deren Widerstand W und Potential auf sich selbst P ; so wird durch die Unterbrechung des Stroms der ersten in der zweiten ein Inductionsstrom erzeugt, dessen Größe $\frac{JQ}{W}$ ist. Von dem Augenblicke an,

1) *Exper. Rec.* 2170, 2332, 2650.

wo die Kraft des inducirenden Stromes vollständig geschwunden ist, bestimmt sich der Verlauf des inducirten Stroms nach den oben entwickelten Principien durch die Gleichung:

$$iW = -P \frac{di}{dt},$$

deren Integral ist:

$$i = Ce^{-\frac{W}{P}t}$$

wo C die Integrationsconstante ist. Da nach den eben berichteten Versuchen die Zeit der unmittelbaren Nachwirkung des inducirenden Stroms gegen die Dauer des inducirten verschwindet, können wir im Integral des Stromes die jener ersten angehörnden Stromtheile vernachlässigen. Darnach ist

$$\int_0^{\infty} i dt = \frac{P}{W} C = \frac{JQ}{W}.$$

Hierdurch bestimmt sich C , und wir erhalten:

$$i = \frac{JQ}{P} e^{-\frac{W}{P}t}.$$

Diese Gleichung sagt aus, dass im Augenblicke der Unterbrechung des inducirenden Stroms, wo $t=0$, die Intensität des inducirten plötzlich auf den Werth $\frac{JQ}{P}$ steigt, und dann allmählig sinkt. Ersteres wird nun in Wirklichkeit nicht absolut plötzlich geschehen, aber doch jedenfalls mit einer Schnelligkeit, welche die des Sinkens bei weitem übertrifft. Daraus folgt, dass auch die physiologische Wirkung dieser Ströme, welche desto größer zu seyn pflegt, je schneller die Stromesschwankung, hauptsächlich von dem ansteigenden Theile herrührt. Man kann sich davon leicht überzeugen, wenn man mittels der Wippe die Leitung zum menschlichen Körper möglichst schnell nach der Unterbrechung des inducirenden Stromes unterbricht. Die physiologische Wirkung wird dadurch nicht im geringsten geschwächt, und hört bei immer größerer Verminderung der

elektromagnetisch zu messenden Zwischenzeit von erster Schließung und zweiter Lösung erst dann auf, wenn diese der Zwischenzeit der zweiten Schließung und zweiten Lösung gleich geworden ist, wenn also beide Schließungen und beide Lösungen gleichzeitig erfolgen. Es zeigt sich auch hier wieder, daß die Wippe nicht schnell genug unterbrechen kann, um die Unterbrechung während des Ansteigens des Stromes auszuführen.

Die physiologische Wirkung verräth uns aber noch andere Eigenthümlichkeiten der ansteigenden Phase des Stromes. Sie ist nämlich an Stärke verschieden bei verschiedenen Oeffnungsweisen. Unterbricht man den Strom dadurch, daß man einen amalgamirten Draht aus Quecksilber langsam aushebt, so ist die Wirkung am schwächsten, bei schnellerem Ausheben wird sie stärker, beträchtlich stärker aber, wenn man zwischen festen Metallen unterbricht. Bei passender Regulirung der Stromstärke kann die erstere Wirkung fast unmerklich, die letztere sehr empfindlich seyn. Daraus müssen wir wohl schließen, daß die Dauer der Ansteigung des inducirten Stroms, also die Dauer der inducirenden Kraft, wesentlich von der Zeit abhängt, während welcher sich die Metalle an der Unterbrechungsstelle von einander lösen. Diefs geschieht wegen der Ueberführung glühender Metalltheile, welche den Funken bilden, stets nur allmählig, niemals absolut plötzlich, und wahrscheinlich bei lockern Metallen, deren Theile leicht von einander gerissen werden, also namentlich bei Quecksilber, langsamer als bei festen. Daraus erklärt sich dann leicht der Unterschied in der physiologischen Wirkung. Fände dagegen eine beträchtliche Nachwirkung statt, so würde das Ansteigen des inducirten Stromes hauptsächlich von dieser und viel weniger von der Funkendauer abhängen.

Ganz dieselben Versuche können mit einer Spirale angestellt werden, in deren Nebenleitung der menschliche Körper den Extracurrent empfängt, und welche unmittelbar nach der Unterbrechung der Leitung zur Batterie eben-

falls unterbrochen wird. Man findet denselben Erfolg, dieselben Unterschiede bei verschiedenen Oeffnungsweisen und kann darauf dieselben Schlusfolgerungen bauen.

Schliesslich mache ich noch darauf aufmerksam, dass die hier besprochenen Verzögerungen des Anfanges und Endes der elektrischen Ströme bei den Versuchen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit derselben von dem grössten Einflusse seyn müssen, was bisher nicht gehörig beachtet worden ist. Die dabei gebrauchten Leitungen enthalten stets grosse Spiralen, zum Theil selbst Elektromagnete, und haben wegen der unvollkommenen Isolation der Telegraphendrähte stets Nebenleitungen, in denen sich auch bei der Oeffnung der Hauptleitung Extracurrents bilden können. Da nun Anfang und Ende des Hauptstroms dadurch sehr verschieden verzögert werden, je nachdem kleinere oder grössere Drahtlängen (Widerstände) eingeschaltet sind, so müssen wahrscheinlich sämmtliche bis jetzt gewonnenen Resultate der Art beträchtlichen Correctionen unterliegen, über deren Grösse und Sinn bei den mangelhaften bisher veröffentlichten Beschreibungen der Versuche man aber noch kein Urtheil bilden kann. Die ersten von Walker ¹⁾ angestellten Versuche sind vielleicht ganz illusorisch, weil die Extracurrents gerade dieselben Wirkungen hervorbringen konnten, welche der Fortpflanzungszeit der Elektrizität zugeschrieben sind.

Es sind dabei die zeichnenden Telegraphen von Morse benutzt, deren Zeichenstift so lange auf einem bewegten Papierstreifen zeichnet, als der Strom kreiset. Wird dieser an irgend einer Stelle unterbrochen, so entfernen sich augenblicklich die zeichnenden Spitzen auf sämmtlichen Stationen von dem Papier. Da nun den Extracurrents der Elektromagnete desto mehr Nebenleitungen zu Gebote stehen, je weiter sie von der Unterbrechungsstelle entfernt sind, so schwindet auch ihr Magnetismus und heben sich die Zeichenstifte in demselben Verhältnisse später, ohne dass

1) Schuhmacher's Astron. Nachrichten No. 679. — *Astronomical Journal* (Cambridge, Amerika) No. 7.

die Fortpflanzungszeit der Elektrizität dabei in Betracht zu kommen braucht. Bei den Versuchen von Mitchel¹⁾ gehört der Elektromagnet, welcher den zeichnenden Stifte andrückt, entweder einem kurzen oder einem sehr langen Kreise von gleicher Stromintensität an, und es werden die Zwischenzeiten zwischen Schließung des Kreises und Anschlagen des Stiftes gemessen. Diese können aber auch, abgesehen von der Fortpflanzungszeit der Elektrizität, nur dann gleich seyn, wenn nicht nur die Intensitäten, sondern auch die Geschwindigkeiten der Stromanstiegungen, d. h. die Größen $\frac{P}{W}$, in beiden Kreisen gleich sind. Darüber finden sich aber gar keine Angaben. Falls in dem großen Kreise die Elektromagnete der einzelnen Zwischenstationen eingeschaltet blieben, was wohl der Fall gewesen zu seyn scheint, konnte $\frac{P}{W}$ für den großen Kreis sehr viel größer als für den kleinen seyn, und die Verspätung der Wirkung ganz allein davon herrühren. Die Geschwindigkeit der Elektrizität ist in beiden Versuchsreihen dem entsprechend auch viel geringer gefunden worden als von Fizeau und Gounelle. Bei der Methode der letzteren kann wenigstens durch die besprochenen Verhältnisse keine vollständige Täuschung hervorgebracht seyn; ob und wie große Correctionen nöthig werden sollten, läßt sich noch nicht übersehen.

1) *Astron. Journ.* No. 2. (Diese Ann. Bd. LXXX, S. 161).

III. *Ueber die Interferenzfarben, die zwischen zwei Glasprismen, oder einem solchen Prisma und einer planparallelen Glasplatte sich bilden können;*
von E. Wilde.

Obgleich diese Farben zu den prachtvollsten gehören, die uns die Natur darbietet, so sind doch ihre Eigenschaften bisher nicht erforscht worden. Zwar erwähnt Airy ¹⁾ lebhafter Farbenzonen, die nur in einer von zwei rechtwinkligen oder nahe rechtwinkligen Prismen gebildeten Luftlamelle im Tageslichte sich zeigen sollen; die von der Tiefe der Lamelle abhängigen Veränderungen dieser Farben aber, die keinesweges blofs zwischen solchen Prismen entstehen können, die Aufeinanderfolge der verschiedenfarbigen Zonen, so wie überhaupt alle von diesen Farben ausschliesslich befolgten Gesetze hat Airy nicht angegeben.

Meine Beobachtungen dieser Interferenzerscheinung, die bis in die geringfügigsten Umstände aus der Undulationstheorie sich ableiten läfst, übergebe ich gerade jetzt der Oeffentlichkeit um so lieber, da man unter denselben einen neuen Beweis für die Wahrheit der von mir behaupteten *Theorie der Farben dünner Blättchen* finden wird. Auf die Beschreibung des Apparates, dessen ich mich bedient habe, werde ich die Beobachtungen, und hierauf ihre Erklärung durch die Undulationstheorie folgen lassen.

Die Beschreibung des Apparates.

Es versteht sich von selbst, dafs die Prismen, durch deren Annäherung man regelmässige und intensive Farbenzonen erhalten will, möglichst frei von Blasen und Schlieren seyn müssen; noch unerlässlicher aber und zwar nicht blofs für die Intensität der Farben, sondern für ihr Sichtbarwerden überhaupt ist vornehmlich die Bedingung, dafs die Seitenflächen der Prismen, die in Berührung gebracht

1) Diese Ann. Bd. 41, S. 512.

werden sollen, möglichst eben sind. Denn zwischen den Prismen, die man gewöhnlich im Handel bekommt, erscheinen jene Farben gar nicht, weil solche Prismen fast ohne Ausnahme nach der Mitte der Seitenflächen hin eine geringe Convexität haben, so daß nur Newton'sche Ringe zwischen ihnen entstehen können. Für die Symmetrie der Zonen ist es überdißs noch erforderlich, daß auf die sich berührenden Glasflächen überall ein gleichmäßiger Druck ausgeübt werde, weil sonst eine und dieselbe Zone an verschiedenen Stellen eine verschiedene Breite haben würde.

Der von mir gebrauchte, in der Werkstatt der HH. Pistor und Martins construirte Apparat, zu welchem rechtwinkelige Crown Glas-Prismen genommen sind, entspricht diesen Erfordernissen wenigstens in so weit, als sie sich practisch ausführen lassen. Beide Prismen, von denen jedes $\frac{9}{10}$ Par. Zoll lang und $1\frac{1}{8}$ Par. Zoll breit ist, sind in starke Messingstücke gefast, die sich nicht leicht verbiegen können, und das obere mit einem Schlitten, das untere aber mit der Bahn zu demselben fest verbunden. Beide, der Schlitten und seine Bahn, sind gleichfalls aus starken Messingstücken zusammengesetzt, und passen vollkommen in einander. Die Bewegung des Schlittens, durch welche man die Prismen einander näher bringt, wird durch eine Mikrometerschraube mit so engen Umgängen bewirkt, daß 100 derselben in einem Par. Zoll enthalten sind. Da der Kopf der Schraube gleichfalls in 100 Theile getheilt ist, so könnte man, wenn anders bei so breiten zusammengeprefsten Glasflächen eine genaue Messung überhaupt möglich wäre, die Annäherung der Prismen selbst bis auf Hunderttausendtel eines Zolles bestimmen. Damit die Schraube stets in derselben Richtung gehalten werde, und bei häufigerem Gebrauche des Instrumentes nicht todtte Gänge entstehen, ist ihr unterer Theil zwischen ihren beiden Stützpunkten, von denen der eine in der festen Bahn, der andere aber in dem beweglichen Schlitten liegt, mit einer starken Feder umgeben. Diese ganze Vorrichtung läßt sich an einem Stativ, das etwa 8 Par. Zoll hoch ist,

um eine horizontale Axe drehen, damit die Grundflächen der Prismen in jede beliebige Stellung gegen die einfallenden Strahlen gebracht werden können.

Die Beobachtungen.

1. Wie groß auch die gegenseitige Entfernung der Prismen seyn mag, so sieht man doch die Grundfläche des oberen, bei einer leicht zu ermittelnden Lage derselben gegen das einfallende *homogene Licht*, in zwei ungleich helle, durch eine kreisförmige Gränze geschiedene Theile getheilt, und zwar ist der untere, wo die Strahlen größtentheils durchgelassen werden, viel dunkler als der obere, wo sie eine totale Reflexion erleiden, wie ich hierauf schon bei einer anderen Gelegenheit aufmerksam gemacht habe ¹⁾. Sind aber die Prismen, ohne eine Aenderung ihrer vorigen Lage gegen das einfallende Licht, mittelst der Mikrometerschraube allmählig so weit genähert, daß die Strahlen, die an den beiden Gränzen der zwischen ihren Grundflächen entstandenen Luftlamelle reflectirt werden, in sichtbarer Weise interferiren können, so erblickt man zwischen den beiden ungleich hellen Theilen der oberen Grundfläche einen dunklen, gegen das Auge concaven Kreisbogen, und gleichzeitig unterhalb desselben eine große Menge sehr schmäler heller und dunkler, jenem obersten Bogen paralleler Curven, die den ganzen unteren Raum der Basis erfüllen.

2. Nähert man hierauf die Prismen noch mehr, so wird die Zahl der hellen und dunklen Bogen kleiner, indem sie in breitere Zonen übergehen, und zwar sind nicht nur die hellen Zonen überall breiter, als die gleichvielten dunklen, sondern beide, die hellen und dunklen, erscheinen auch um so breiter, je tiefer sie nach unten hin liegen. Sie alle zeigen sich überdies an einer etwas tieferen, dem Auge näheren Stelle, als es bei den entsprechenden, unter 1. beschriebenen sehr schmalen Bogen der Fall gewesen war.

3. Bei fortgesetzter Annäherung der Prismen werden die Zonen, die immer tiefer sinken, noch breiter, bis end-

1) Diese Ann. Bd. 80, S. 417.

lich die ganze Basis des oberen Prisma in gleichmäßigem homogenen Lichte erscheint, das zwar schwächer ist als es anfänglich oben, wo die totale Reflexion stattfand, sich gezeigt hatte, in dem sich jedoch nirgends Dunkelheit oder gar Schwärze wahrnehmen läßt. Da die totale Reflexion, die nur möglich ist, so lange sich unterhalb des reflectirenden Glases noch Luft befindet, aufgehört hatte, und da sich überdies nirgends mehr eine dunkle Zone bemerken liefs, so konnte auch keine Luft mehr zwischen den Prismen vorhanden seyn. *Es fand dann also in der Entfernung Null die innigste Berührung zwischen ihnen statt.*

4. Wurden hierauf die Prismen, so weit es möglich war, über die Entfernung Null hinaus gewaltsam noch stärker zusammengeschraubt, so wurde zwar der ganze, der Schraube zunächst liegende Theil der Basis dunkel, der von derselben entferntere aber blieb hell. Es waren dann nämlich die Prismen in der Nähe der Schraube stärker zusammengepreßt, als an der anderen, von derselben entfernteren Seite, so dafs sich hier wieder eine dünne Luftschicht bilden konnte.

5. Die Erscheinungen im freien Tageslichte sind denen im homogenen überall analog, mit dem Unterschiede jedoch, dafs die im Tageslichte sich bildenden Farben einen ungemein schönen Anblick darbieten, während der blofse Wechsel von hellen und dunklen Zonen im homogenen Lichte das Auge eben so unbefriedigt läßt, wie dies bei allen Interferenzphänomenen dieser Art geschieht.

Ist bei einem gröfseren Abstände der Prismen die Interferenz der Strahlen noch nicht bemerkbar, so sieht man den unteren dunkleren Theil der Basis, wo alle Farben grofsentheils durchgelassen werden, von dem oberen helleren, wo sie alle eine totale Reflexion erleiden, durch einen blauvioletten Kreisbogen getrennt, der seine concave Seite dem Auge zukehrt, und dadurch entsteht, dafs die beiden brechbarsten Farben durch die Basis noch nicht durchgelassen werden, während alle übrigen schon durchgelassen sind.

Sobald bei zunehmender Annäherung der Prismen die sichtbare Interferenz der Strahlen beginnt, erblickt man innerhalb des unteren Raumes, und zwar in unmittelbarer Nähe jenes blauvioletten Bogens, gleichzeitig sechs bis sieben äußerst feine weisse Bogen, von denen jeder in noch feinere Säume gefasst ist, einen blauvioletten an der von dem Auge entfernteren Seite und einen rothen an der dem Auge näheren. Wie auch das Licht in anderer Weise wirken mag, ein so zartes Bild, das aus seinem dunklen Hintergrunde um so gefälliger hervortritt, sieht man in keinem anderen Falle wieder.

Nähert man die Prismen noch mehr, so werden die Bogen immer breiter, und es entwickeln sich aus der vorhin weissen Mitte eines jeden der oberen, vom Auge entfernteren Bogen nach und nach mehrere Farben von der violetten bis zur rothen hin, während in den unteren dem Auge näheren Zonen besonders Grün und Roth hervortreten. Die blauviolette Zone, die vorhin das ganze Farbensystem nach oben hin begränzt hatte, sinkt dabei immer tiefer, und es wird die Stelle, die sie einnahm, durch eine rothe Zone ersetzt.

Werden hierauf die Prismen noch stärker zusammengeschraubt, so bemerkt man bald aufser einer gelben, orangefarbenen und rothen Zone nur noch eine einzige vollständige Farbenfolge von der violetten bis zur rothen hin, alle diese Zonen aber in ungewöhnlicher Intensität und Reinheit. In diesem breiten überaus prachtvollen Bande sieht man also von oben nach unten hin die Farben in der Ordnung: Gelb, Orange, Roth, Violett, Blau, Grün, Gelb, Roth; es ist jedoch das unterste Roth nicht mehr rein, sondern eine Mischung von Blau und Roth.

Es bedarf dann nur noch einer sehr kleinen Annäherung der Prismen, damit die totale Reflexion sowohl, als auch jede Spur von einer farbigen Zone verschwindet, und die ganze Basis des oberen Prisma in gleichmässiger Helligkeit erscheint, die zwar nicht so gross ist, wie sie vorhin in der Gegend der totalen Reflexion gewesen war, in

der sich jedoch nirgends auch nur die entfernteste Andeutung von Schwärze wahrnehmen läßt. Die Tiefe der Lamelle muß dann also Null seyn.

Wurden endlich die Prismen, wie dies auch im homogenen Lichte geschehen war, über die Entfernung Null hinaus noch stärker zusammengepreßt, so wurde der an der Schraube zunächst liegende Theil der Basis schwarz, in dem von der Schraube entfernteren aber wurden wieder farbige Zonen sichtbar.

6. Die durch beide Prismen im Tageslichte durchgelassenen Farben sind überall die complementären der reflectirten, die durchgelassenen sind jedoch weniger lebhaft als die reflectirten, wie dies auch bei den Newton'schen Ringen der Fall ist.

7. Alle diese Erscheinungen sieht man nicht bloß, wenn die Prismen rechtwinkelig oder nahe rechtwinkelig sind, sondern sie zeigen sich vielmehr zwischen jeden zwei Prismen, an deren Basis ein Theil der einfallenden Strahlen eine totale Reflexion erleiden und zugleich ein anderer Theil in die Luftlamelle übergehen kann. Die Winkel an den Grundflächen der Prismen können daher zwischen den Gränzen von $40^{\circ} 43'$ und $81^{\circ} 26'$ variiren. Dieselben Farbenzonen, die man zwischen zwei Prismen erhält, bilden sich auch zwischen einem Prisma und einer planparallelen Glasplatte.

Die Erklärung dieser Beobachtungen.

In der Abhandlung über die *Theorie der Farben dünner Blättchen*¹⁾ ist als der einfachste Ausdruck für die Intensität eines *homogenen Strahlenbündels* mit der Wellenlänge λ , das an den beiden Gränzen einer zwischen zwei Gläsern liegenden Luftlamelle *reflectirt* wurde:

$$(1) \quad J = 4\alpha \sin^2 2\pi \frac{d \cos r}{\lambda},$$

und, wenn die Entfernung der Gläser Null ist:

$$(2) \quad J = 4\alpha \cos^2 2\pi \frac{d \cos r}{\lambda}$$

1) Diese Ann. Bd. 82, S. 18.

gefunden, sobald 1 die Intensität der auf die Lamelle fallenden Strahlen, α den an der oberen oder unteren Gränze der Lamelle reflectirten Lichttheil, d die Tiefe der Lamelle, r den Brechungswinkel aus dem Glase in die Luft, und $\frac{2d\cos r}{\lambda}$ den Gangunterschied der interferirenden Bündel bedeutet. Für das durchgelassene Licht aber ist die Intensität:

$$(3) \quad J = 1 - 4\alpha \sin^2 2\pi \frac{d\cos r}{\lambda},$$

und, wenn die Entfernung der Gläser Null ist:

$$(4) \quad J = 1 - 4\alpha \cos^2 2\pi \frac{d\cos r}{\lambda},$$

woraus folgt, daß die reflectirten und durchgelassenen Strahlen zur Intensität 1 der einfallenden sich ergänzen, daß daher das reflectirte Licht stets das complementäre des einfallenden seyn muß. In eben diesen Gleichungen findet man auch die Erklärung der unter 1. bis 6. angegebenen Beobachtungen.

Bei den Newton'schen Ringen hat der Brechungswinkel r in der Luftlamelle, weil er einem bestimmten Einfallswinkel der Strahlen aus der Luft in das obere planparallele Glas gleich ist, für die verschiedenen Maxima und Minima einer und derselben Farbe (wenigstens in der Nähe des Centrums) einen constanten, die Tiefe d der Lamelle aber einen veränderlichen Werth; hier dagegen, wo die brechenden Flächen (Fig. 20 Taf. II.) MS und NS mit den Grundflächen MN und PQ der Prismen MNS und PQT nicht parallel sind, ist umgekehrt die Tiefe $gh = d$ der zwischen den beiden Grundflächen befindlichen Lamelle in ihrer ganzen Ausdehnung constant, und der Brechungswinkel $hgm = r$ für die verschiedenen Maxima und Minima einer und derselben Farbe veränderlich. Wäre z. B. $d = 0,002$ Par. Zoll, und $\lambda = 0,00002541$ Par. Zoll die Wellenlänge des Fraunhofer'schen rothen Strahles B , so hat man für das erste Maximum 4α dieses rothen Lichtes:

$$2\pi \frac{d \cos r}{\lambda} = \frac{\pi}{2}, \text{ oder}$$

$$\cos r = \frac{\lambda}{4d} = \cos 89^\circ 49' 5''.$$

Für das zweite Maximum 4α eben dieses rothen Lichtes aber ist:

$$2\pi \frac{d \cos r}{\lambda} = \frac{3\pi}{2}, \text{ oder}$$

$$\cos r = \frac{3\lambda}{4d} = \cos 89^\circ 27' 15'',$$

der Winkel r also in beiden Fällen verschieden. Der Brechungsexponent n für diesen Strahl aus der Luft in das Crown Glas ist 1,5258. Man hat daher für das erste Maximum den Einfallswinkel $agb=i=40^\circ 56' 57''$, und für das zweite den Einfallswinkel $kfe=i=40^\circ 56' 50''$, wie diese Werthe aus der Gleichung $\sin i = \frac{\sin r}{n}$ sich ergeben. Der Winkel θ , das Complement von i , ist dann für das erste Maximum $=49^\circ 3' 3''$, und für das zweite $=49^\circ 3' 10''$. In dieser Weise sind die folgenden Tafeln für den Strahl B und drei verschiedene Werthe von d berechnet worden:

Strahl B.

$d=0,002$ Par. Zoll.

Folge der Maxima.	Winkel r aus den Gleichungen $\cos r = \frac{\lambda}{4d} = \frac{3\lambda}{4d} \dots$	Winkel i aus der Gleichung $n \sin i = \sin r$.	Winkel θ aus der Gleichung $\theta = 90^\circ - i$.
Erstes Maximum	$89^\circ 49' 5''$	$40^\circ 56' 57''$	$49^\circ 3' 3''$
Zweites „	$89^\circ 27' 15''$	$40^\circ 56' 50''$	$49^\circ 3' 10''$
Drittes „	$89^\circ 5' 25''$	$40^\circ 56' 35''$	$49^\circ 3' 25''$
Viertes „	$88^\circ 43' 34''$	$40^\circ 56' 14''$	$49^\circ 3' 46''$
u. s. w.			

Strahl B.

$d=0,0001$ Par. Zoll.

Folge der Maxima.	Winkel r .	Winkel i .	Winkel θ .
Erstes Maximum	$86^\circ 21'$	$40^\circ 51'$	$49^\circ 9'$
Zweites „	$79^\circ 1'$	$40^\circ 2'$	$49^\circ 58'$
Drittes „	$71^\circ 29'$	$38^\circ 26'$	$51^\circ 34'$
Viertes „	$63^\circ 36'$	$35^\circ 56'$	$54^\circ 4'$
u. s. w.			

Strahl B.

 $d=0,00002$ Par. Zoll.

Folge der Maxima.	Winkel r .	Winkel i .	Winkel θ .
Erstes Maximum	71° 29'	38° 25'	51° 35'
Zweites „	17 39	11 27	78 33

Die folgenden Maxima sind für diesen Werth von d nicht mehr möglich, weil schon für das dritte $\cos r = \frac{5\lambda}{4d} = \frac{2541}{1600}$ also größer als 1 ist.

Da für $d=0,002$ Par. Zoll die Strahlen z. B. des ersten *rothen Maximums* überall unter dem Winkel von 49° 3' 3" von der Basis des oberen Prisma reflectirt werden, so erklärt sich hieraus zunächst die kreisförmige Gestalt dieses Maximums und aller übrigen Maxima und Minima. Denn werden die Strahlen rings um das Auge unter einem constanten Winkel zurückgeworfen, so müssen sie auf der Oberfläche eines Kegels liegen, dessen Scheitel im Auge (Fig. 20. Taf. II.) O sich befindet, und daher kreisförmig erscheinen. Zweitens findet man in jenen Werthen von θ den Grund, aus welchem die Breite der Zonen zunimmt, wenn die Entfernung der Prismen kleiner wird. Denn es hängt diese Breite von dem Winkel gOf ab, unter dem zwei auf einander folgende Maxima oder Minima einer und derselben Farbe gesehen werden, und dieser Winkel ist die Differenz zweier auf einander folgenden Werthe von θ . Es enthält aber diese Differenz z. B. für die erste und zweite rothe Zone und für $d=0,002$ Par. Zoll nur 7", während sie für $d=0,0001$ Par. Zoll schon 49', und für $d=0,00002$ Par. Zoll sogar 26° 58' beträgt. Drittens ergibt es sich aus jenen Tabellen, weshalb die Breite der Zonen um so größer werden muß, je tiefer sie bei demselben Werthe von d nach dem Auge hin liegen. So hat z. B. für $d=0,0001$ Par. Zoll der Schinkel für das erste und zweite Maximum des Roth 49', für das zweite und dritte aber 1° 36', und für das dritte und vierte 2° 30'. Endlich viertens erklärt es sich aus jenen Tafeln, weshalb

dieselbe Zone um so tiefer sich zeigen mufs, je mehr man die Prismen zusammenpreßt. Es werden nämlich die zu demselben Maximum gehörigen Werthe von θ um so gröfser, je kleiner man die von d nimmt. Je gröfser aber der Winkel θ wird, desto tiefer mufs die dazu gehörige Zone erscheinen.

Die höchste dunkle Zone, die im *homogenen Lichte* den oberen helleren Theil der Basis von dem unteren dunkleren trennt, und um so tiefer sinkt, je kleiner der Abstand der Prismen genommen wird, ist das erste Minimum, für welches man $2\pi \frac{d \cos r}{\lambda}$ nicht $= 0$, sondern vielmehr $= \pi$ zu setzen hat, damit in Folge der Gleichung (1) die Intensität

$$J = 4\alpha \sin^2 2\pi \frac{d \cos r}{\lambda} = 4\alpha \sin^2 \pi = 0$$

werde. Denn wollte man für das erste Minimum $2\pi \frac{d \cos r}{\lambda} = 0$ nehmen, so würde für jede Tiefe d der Lamelle $\cos r = 0$ oder $r = 90^\circ$, und für diesen Werth von r die zur Interferenz der Lichtstrahlen nothwendig erforderliche Durchlassung eines Theiles derselben in die Lamelle nicht möglich seyn. Da für das erste Maximum $2\pi \frac{d \cos r}{\lambda} = \frac{\pi}{2}$ ist, so liegt es höher als das erste Minimum, und schließt sich ohne dunkle Unterbrechung an die totale Reflexion an').

Sobald im homogenen Lichte nirgends mehr eine dunkle Zone sichtbar ist und zugleich die totale Reflexion in dem oberen Theile der Basis aufgehört hat, kann auch keine Luft mehr zwischen den Prismen vorhanden seyn, und es ist dann also ihre Entfernung $d = 0$. In Folge der Gleichung (1) müfste daher für diesen Werth von d auch die Intensität Null seyn und die Basis dunkel erscheinen. So

- 1) Die im homogenen Lichte mit der Tiefe der Lamelle sich ändernde Lage der ersten dunklen Zone läfst keinen Zweifel übrig, dafs sich dies in der That so verhält. Denn könnte der dem ersten Minimum zugehörige Winkel r für jede Tiefe der Lamelle den constanten Werth von 90° haben, so wären auch die Werthe von i und θ für jede Tiefe der Lamelle constant, und man müfste dann die oberste dunkle Zone stets an derselben Stelle sehen.

aber verhält es sich, wie unter 3. angegeben wurde, keinesweges. Das reflectirte Licht ist dann vielmehr auf der ganzen Basis des oberen Prisma zwar nicht so hell, wie es vorhin in der Gegend der totalen Reflexion gewesen war; es ist aber doch merklich heller, als es, sobald sich noch Luft zwischen den Prismen befand, in dem unteren dunkleren Theile der Grundfläche sich gezeigt hatte. Dieser Intensität entspricht also nicht die Gleichung (1), wohl aber die Gleichung (2):

$$J = 4\alpha \cos^2 2\pi \frac{d \cos r}{\lambda},$$

aus der sich für $d=0$ die Lichtstärke einer jeden reflectirten Farbe $= 4\alpha$ ergibt, die kleiner ist, als die Intensität 1, mit der jede Farbe auf die Basis einfällt¹⁾. Erst dann, wenn die Prismen über die Entfernung Null hinaus noch stärker zusammengeschraubt werden, verlieren die gewaltsam zusammengepressten Glasflächen die Fähigkeit, die Strahlen noch ferner reflectiren zu können, und erscheinen dunkel, während auf das durchgelassene Licht, in Folge des *Princips der Erhaltung der lebendigen Kräfte*, die gesamte Intensität des einfallenden übergeht. An diesen Resultaten hat man also zugleich einen neuen Beweis dafür, *dafs auch bei den Newton'schen Ringen die Dunkelheit, in der sich der Centralfleck im einfallenden homogenen Lichte bei einer stärkeren Zusammenpressung der Gläser zeigt, aus der Gleichung (1) für $d=0$ nicht erklärt werden könne, dafs vielmehr für die Entfernung Null der Gläser der Centralfleck hell seyn, und das erste Maximum ohne dunkle Unterbrechung an diese helle Mitte sich anschliessen müsse*²⁾.

Dafs die hellen Zonen im homogenen Lichte breiter sind, als die dunklen, wird dadurch erklärlich, dafs für eine bestimmte Tiefe der Lamelle jedes Minimum nur für einen einzigen Werth des Winkels r eintreten kann. Wenn also auch die Strahlen, die an beiden Seiten in der Nähe derer sich befinden, die ihre Lichtwirkung völlig zerstö-

1) Diese Ann. Bd. 82, S. 32.

2) Diese Ann. Bd. 82, S. 40.

ren, eine theilweise Vernichtung bei ihrer Interferenz erleiden, so wird diese doch bald zu unmerklich, als dafs die dunklen Zonen eben so breit, wie die hellen erscheinen könnten.

Um ferner die Folge der Farben im einfallenden Tageslichte, die nur bei einer sehr kleinen Tiefe der Lamelle völlig gesondert erscheinen, theoretisch ableiten zu können, mögen hier noch für den auf der Gränze zwischen Gelb und Grün liegenden Fraunhofer'schen Strahl *E*, dessen Wellenlänge = 0,00001945 Par. Zoll und dessen Brechungsexponent = 1,5330, und für den mittleren violetten Strahl *H*, dessen Wellenlänge = 0,00001464 und dessen Brechungsexponent = 1,5465, die Winkel *r*, *i* und *θ*, und zwar für *d* = 0,00002 Par. Zoll folgen:

Strahl *E*.*d* = 0,00002 Par. Zoll.

Folge der Maxima.	Winkel <i>r</i> .	Winkel <i>i</i> .	Winkel <i>θ</i> .
Erstes Maximum	75° 56'	39° 15'	50° 45'
Zweites „	43 10	26 30	63 30

Das dritte Maximum ist nicht mehr möglich, weil für dasselbe $\cos r = \frac{5\lambda}{4d} = \frac{389}{320}$ seyn würde.

Strahl *H*.*d* = 0,00002 Par. Zoll.

Folge der Maxima.	Winkel <i>r</i> .	Winkel <i>i</i> .	Winkel <i>θ</i> .
Erstes Maximum	79° 28'	39° 29'	50° 31'
Zweites „	56 42	32 43	57 17
Drittes „	23 48	15 7	74 53

Hier wird erst das vierte Maximum unmöglich, für welches $\cos r = \frac{7\lambda}{4d} = \frac{1281}{1000}$ ist.

Vergleicht man diese beiden Tafeln mit der für denselben Werth von *d* und den rothen Strahl *B* berechneten (Seite 549), so ergibt sich, dafs der für das erste Ma-

ximum des violetten Strahles H gültige Winkel θ unter allen der kleinste, daß er aber von dem für das erste Maximum des Strahles E berechneten nur um $50^\circ 45' - 50^\circ 31' = 14'$ verschieden sey, daß daher, da innerhalb eines so kleinen Winkels die violetten, blauen, grünen und einige gelbe Strahlen zusammenfallen, in dieser Gegend des Gesichtsfeldes eine bestimmte Farbe um so weniger sichtbar seyn könne, da die jenen Strahlen zugehörigen Zonen bei der sehr kleinen Tiefe der Lamelle schon breit genug sind, um sich überall zu decken. Es folgt alsdann für das erste Maximum des Strahles E der Winkel $\theta = 50^\circ 45'$, und für das erste Maximum des Strahles B der Winkel $\theta = 51^\circ 35'$. Hier also, wo beide Werthe von θ schon um $50'$ verschieden sind, werden Gelb und Roth schon gesondert erscheinen. Da die hierauf folgenden Werthe von θ für das zweite Maximum des Violett $= 57^\circ 17'$, für das zweite Maximum des Grüngelb $= 63^\circ 30'$, für das dritte Maximum des Violett $= 74^\circ 53'$, und für das zweite Maximum des Roth $= 78^\circ 33'$ gefunden sind, so müssen die Farben von oben nach unten hin in der Ordnung: Gelb, Orange, Roth, Violett, Blau, Grün, Gelb und Dunkelroth folgen, wie dieß alles den unter 5. angegebenen Beobachtungen entspricht. Dunkelroth muß nämlich die tiefste Zone erscheinen, weil hier die violetten und blauen Strahlen mit den orangefarbenen und rothen zusammenfallen. Zugleich ergibt sich aus diesen Werthen von θ die sehr beträchtliche Breite der Zonen, und die hiermit zusammenhängende Reinheit und Intensität der einzelnen Farben.

Da die Zonen um so schmaler werden, je mehr die Tiefe der Lamelle zunimmt, so muß bei größeren Abständen der Prismen die Mitte einer jeden Zone, wo alle Farben zusammenfallen, weiß erscheinen. Daß diese weißen Zonen oben in einen violetten und unten in einen rothen Saum gefaßt seyn müssen, hiervon überzeugt man sich, wenn man in derselben Weise, wie vorhin, für einen größeren Werth von d , z. B. für $d = 0,002$ Par. Zoll auch für die

Strahlen *E* und *H* die Winkel θ berechnet, und sie mit den zu dem Strahle *B* gehörigen vergleicht.

Im Tageslichte und bei einer gröfseren Entfernung der Prismen zeigen sich die reflectirten Zonen nur in dem oberen Theile des dunkleren Raumes der Basis, im homogenen Lichte dagegen ist dieser ganze dunklere Raum mit abwechselnd dunklen und hellen Zonen erfüllt, wie dies unter 5. und 1. angegeben wurde. Der Grund hiervon ist in dem Gangunterschiede $\frac{2d \cos r}{\lambda}$ der interferirenden Strahlen zu finden. Denn es wird, wie aus den obigen Tabellen hervorgeht, der Winkel r um so gröfser, sein Cosinus folglich um so kleiner, je weiter die Zonen von dem Auge entfernt sind. Es ist also selbst im Tageslichte der Gangunterschied $\frac{2d \cos r}{\lambda}$, wenn auch die Tiefe d der Lamelle noch einen gröfseren Werth hat, für die vom Auge entfernten Zonen des kleinen Factors $\cos r$ wegen klein genug, um die Interferenz der Strahlen sichtbar werden zu lassen. Für die tiefer liegenden, dem Auge näheren Zonen aber wird der Winkel r kleiner, der Factor $\cos r$ also gröfser, und bei einem bedeutenderen Werthe von d der Gangunterschied bald zu grofs, als dafs die Interferenz der Strahlen sichtbar werden könnte, die allerdings auch für eine gröfsere Entfernung der Prismen stattfindet, im Tageslichte aber bekanntlich nur bei einem kleinen Gangunterschiede der Strahlen bemerkbar werden kann. Im homogenen Lichte dagegen ist die Interferenz auch noch bei einem gröfseren Gangunterschiede sichtbar ¹⁾, und daher auch der dunklere Raum der Basis überall mit dunklen und hellen Zonen erfüllt.

Die im Tageslichte durch beide Prismen durchgelassenen Farben, die überall sich als die complementären der reflectirten erweisen, werden durch die Gleichungen (3) und (4) erklärt (Seite 547). Sie können nicht so lebhaft wie die reflectirten seyn, weil jede Farbe nicht mit ihrer

1) Diese Ann. Bd. 82, S. 194.

ganzen Intensität 1, sondern nur mit dem Theile 4α derselben zurückgeworfen wird. An der Stelle also, wo eine reflectirte Zone sich z. B. roth zeigt, und die anderen im Tageslichte enthaltenen Strahlen als grüne durchgelassen werden, sind unter diesen grünen auch rothe vorhanden, die sich mit einem Theile der grünen zu weissen zusammensetzen, und eben hierdurch die Intensität der übrigen grünen vermindern.

Die Behauptung Airy's endlich, dafs jene farbigen Zonen nur zwischen rechtwinkligen oder nahe rechtwinkligen Prismen sich bilden können, steht eben so mit meinen Beobachtungen wie mit der Theorie im Widerspruche. Ausser den beiden oben erwähnten rechtwinkligen Prismen besitze ich noch zwei andere *gleichseitige*, die in der Werkstatt der HH. Pistor und Martins so gut geschliffen sind, dafs es, wenn man zwei ihrer Seitenflächen ohne irgend einen Druck auf einander gelegt hat, einer merklichen Kraft bedarf, um die Adhäsion der Glasflächen zu überwinden. Zwischen diesen beiden Prismen aber, in denen jeder Winkel an der Grundfläche schon 60° hat, zeigen sich die Farben noch intensiver, als zwischen den beiden rechtwinkligen, wie sich diefs auch nicht anders verhalten kann. Denn wird der *mittlere Brechungsexponent* des Crownlasses $= 1,533$ gesetzt, so ist der *Gränzwinkel* (Fig. 20 Taf. II.) tkf der durch die Seitenfläche SM durchgelassenen Strahlen $= 40^\circ 43'$, der kleinste Winkel fkM also, den sie mit der Seitenfläche SM im Glase bilden können, $= 49^\circ 17'$, der grösste tkM aber, der zu den senkrecht einfallenden Strahlen gehört, $= 90^\circ$. Da aus eben diesem Grunde eine totale Reflexion an der Basis MN nur so lange stattfinden kann, als der Winkel kfm die Gröfse von $49^\circ 17'$ nicht übersteigt: so dürfen auch die Winkel M und N an der Grundfläche des oberen Prisma nicht kleiner als $180^\circ - (90^\circ + 49^\circ 17') = 40^\circ 43'$, und nicht gröfser als $180^\circ - (49^\circ 17' + 49^\circ 17') = 81^\circ 26'$ seyn, wenn jene Farbenerscheinung mit allen sie begleitenden Umständen noch sichtbar werden soll. Denn wollte man den Winkel M

aufserhalb der einen dieser Gränzen etwa $= 40^\circ$ nehmen so würden die in senkrechter Richtung durch SM gehenden Strahlen einen Winkel von 50° , und die parallel oder nahe parallel mit SM einfallenden einen Winkel von $90^\circ 43'$ mit der Basis MN bilden, und es gäbe dann keine Strahlen, die von MN auch vollständig reflectirt werden könnten. Oder wollte man den Winkel M aufserhalb der anderen Gränze etwa $= 82^\circ$ nehmen, so würden die senkrecht auf SM fallenden Strahlen einen Winkel von 8° , und die parallel mit SM einfallenden einen Winkel von $48^\circ 43'$ mit MN bilden, so dafs in diesem Falle keine Strahlen vorhanden wären, die auch durchgelassen werden könnten. Ist aber der Winkel $M = 60^\circ$, welcher Werth ungefähr in der Mitte zwischen jenen beiden Gränzen liegt, so bilden die von SM in senkrechter Richtung durchgelassenen Strahlen einen Winkel von 30° , und die parallel mit SM einfallenden einen Winkel von $70^\circ 43'$ mit der Basis, und es ist dann bei einigen eine totale Reflexion und bei anderen eine Durchlassung in die Luftlamelle, mithin auch jene Farbenerscheinung mit allen ihren oben beschriebenen Eigenschaften möglich.

So findet man also auch über alle von jenen farbigen Zonen befolgten Gesetze in der Undulationstheorie einen befriedigenden Aufschluß.

IV. *Untersuchung über die im rohen Holzgeist enthaltenen Körper; von Dr. C. Voelckel, Professor am Lyceum in Solothurn.*

(Schluß von S. 287.)

Verhalten des Xylits gegen Kalk.

a) Xylit und Kalilösung.

Wie aus dem Vorhergehenden zu ersehen war, wird der Xylit durch Einwirkung einer Kalilösung nicht verändert, indem er sich ohne Zersetzung davon abdestilliren läßt. Bei längerer Einwirkung einer ganz concentrirten Kalilösung und Zutritt der Luft dagegen wird der Xylit in ein braunes Harz verwandelt.

Nach Schweizer und Weidmann wird der Xylit beim Kochen mit Kalilauge zersetzt, jedoch schwierig, in Holzgeist, der überdestillirt, und in eine eigenthümliche Säure, die Xylitsäure, welche mit dem Kali verbunden bleibt. Der Xylit ist nach Schweizer und Weidmann xylitsaures Methyloxyd. Die Zusammensetzung der Xylitsäure fanden Schweizer und Weidmann, indem sie von ihrer Formel für den Xylit: $C_{12}H_{24}O_5$, 2 At. Methyloxyd $= C_2H_6O$ abzogen, gleich: $C_8H_{12}O_3$. Die rationelle Formel dieser Säure ist nach den Genannten $= 2.C_4H_6.O_3$; also eine niedere Sauerstoffverbindung des Acetyls, des Radicals der Essigsäure. Schweizer und Weidmann bezeichnen diese Säure demnach auch mit dem Namen unteracetylige Säure. Da aber das sogenannte xylitsaure Kali bei der Destillation mit Schwefelsäure immer nur Essigsäure und keine Spur dieser unteracetyligen Säure gab; so mußte eine rasche Oxydation dieser unteracetyligen Säure durch den Sauerstoff der Luft angenommen werden.

Man sieht aus dem Angeführten, wohin vorgefasste Ansichten bei chemischen Arbeiten führen. Schweizer und Weidmann waren bei ihrer Untersuchung über den Holz-

geist von dem Daseyn niedrigerer Sauerstoffverbindungen des Acetyls so fest überzeugt, daß sie bei jeder Reaction eine derartige Verbindung zu finden glaubten. Diese vorgefaßte Idee war nun die Ursache, daß Schweizer und Weidmann einerseits die Zersetzungserscheinungen nicht weit genug verfolgten, andererseits die einfachsten Zersetzungen auf eine ganz irrige Weise erklärten.

Hätten Dieselben die von der Kalilauge abdestillirte Flüssigkeit untersucht, und die Menge des erzeugten Holzgeistes und des gebildeten essigsauren Kalis mit der Menge der angewandten Substanz verglichen, so wäre Denselben die richtige Zusammensetzung des überdestillirten Xylits nicht entgangen. Sie hätten ferner gefunden, daß die Menge des Holzgeistes und der Essigsäure in dem essigsauren Kali gering ist im Vergleich zu der Menge der angewandten Substanz, und hätten nothwendigerweise daraus den Schlufs ziehen müssen, daß Holzgeist und Essigsäure als essigsaures Methyloxyd vorhanden waren.

Xylit und festes Aetzkali.

Nach Schweizer und Weidmann bildet sich, wenn man fein geriebenes Kali in nur geringer Menge zu Xylit bringt, ein krystallinisches Salz, während zugleich Holzgeist frei wird. Dieses Kalisalz ist nach Schweizer und Weidmann ein Doppelsalz von xylitsaurem Kali und xylitsaurem Methyloxyd (Xylit). Das in Wasser gelöste Salz wird nach Schweizer und Weidmann beim Kochen an der Luft unter Entwicklung von geistigen Dämpfen, durch Aufnahme von Sauerstoff aus der Luft, in essigsaures Kali verwandelt.

Bei Wiederholung dieses Versuches fand es sich, daß reiner Xylit sich nicht im geringsten mit feingeriebenem Kali verbindet; der reine Xylit erleidet unmittelbar nicht die geringste Veränderung; erst nach einiger Zeit bräunt sich derselbe, indem er sich theilweise verharzt. Die Bildung des krystallinischen Salzes hängt also von der Gegenwart des essigsauren Methyloxydes ab; das krystallini-

sche Salz ist daher offenbar nichts anderes, als das bekannte Doppelsalz von essigsaurem Kali mit essigsaurem Methyloxyd ¹⁾ mit Holzgeist-Kali. Löst man dieses Salz in Wasser auf, so zersetzt sich das Holzgeist-Kali; das freigewordene Kali zerlegt alsdann beim Kochen das essigsaure Methyloxyd in Holzgeist und essigsaures Kali. Auf diese Weise läßt sich ganz einfach die Bildung von essigsaurem Kali erklären, ohne dafs man nothwendig hätte, die Oxydation einer imaginären Säure durch den Sauerstoff der Luft annehmen zu müssen.

Der Xylit erleidet nach Schweizer und Weidmann bei fortdauernder Einwirkung von Kali verschiedene Zersetzungen, je nach der Dauer der Einwirkung und der Menge des angewandten Kali. Da hier die Wirkung des Kali sich auf die eigentliche Substanz, den Xylit selbst, erstreckt, so stimmen meine Versuche gröfstentheils mit denen von Schweizer und Weidmann überein. Ich mufs hier bemerken, dafs der zu meinen Versuchen verwandte Xylit nicht ganz rein war; ich gebrauchte statt des ganz reinen Xylits, den ich nur in sehr geringer Menge erhalten konnte, die von 61 bis 65° C. übergehende etwas gemischte Flüssigkeit.

Nach Schweizer und Weidmann soll sich bei Einwirkung von wenig Kali auf Xylit, Mesit bilden, welcher dieselbe procentische Zusammensetzung wie der Xylit, aber einen höheren Siedepunkt hat. Der Mesit, der sich bei dem Versuche von Schweizer und Weidmann auf Zusatz von Wasser zu der Mischung von Kali und Xylit abgeschieden hat, war aber sicher schon in dem zu dem Versuche verwandten Xylit enthalten, und hat sich nur abgeschieden, weil er in verdünnter Kalilösung unlöslich ist, während der Xylit sich darin auflöst. Nach meinen Versuchen wird der Xylit bei kurzer Einwirkung und einer kleinen Menge Kali nur in ganz geringer Menge zersetzt; der bei weitem gröfsere Theil läßt sich unverändert bei

1) Dieses Doppelsalz entsteht nach Schweizer und Weidmann bei der Einwirkung von fein zerriebenem Kali auf essigsaures Methyloxyd.

dem gleichen Siedepunkt im Wasserbade wieder abdestilliren; bei dem Kali bleibt nur eine ganz geringe Menge einer harzartigen braunen Substanz nebst einer Spur der in der Folge beschriebenen Körper zurück. Bei längerer Einwirkung und einer gröfseren Menge Kali entstehen nach den Versuchen von Schweizer und Weidmann, womit die meinigen übereinstimmen, folgende Körper: Xylitnaphtha, Xylitöl und Xylitharz. Diese Körper haben nach Schweizer und Weidmann folgende atomistische Zusammensetzung:



Xylitnaphtha.

Schweizer und Weidmann verstehen darunter denjenigen Theil der Zersetzungsproducte des Xylits durch Einwirkung von Kali, welcher zwischen 110° und 120°C. übergeht. Diese Xylitnaphtha ist leichter als Wasser, sie hat einen von dem Xylit etwas abweichenden Geruch. Diese Substanz ist identisch mit demjenigen Theil der Flüssigkeit B, welcher zwischen 110° und 120°C. übergeht.

0,378 Gr. einer solchen Substanz gaben mir nämlich: 0,928 Gr. Kohlensäure und 0,364 Gr. Wasser.

Auf diese Analyse paßt am besten die Formel $\text{C}_{12} \text{H}_{24} \text{O}_3$.

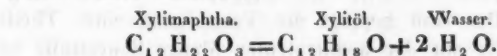
	Berechnet.		Gefunden.	
12 At. Kohlenstoff	900,00	67,28	66,95	
22 At. Wasserstoff	137,50	10,28	10,67	
3 At. Sauerstoff	300,00	22,44	22,33	
1 At. Xylitnaphtha	1337,50	100,00	100,00	

Nach Schweizer und Weidmann besteht die Xylitnaphtha aus $\text{C}_{12} \text{H}_{24} \text{O}_3$.

	Berechnet.		Gefunden.		
			I.		
12 At. Kohlenstoff	900,00	66,66	66,61	66,82	67,47
24 At. Wasserstoff	150,00	11,11	11,15	11,08	10,87
3 At. Sauerstoff	300,00	22,23	22,24	22,10	21,66
	1350,00	100,00	100,00	100,00	100,00.

Die Analysen so wie die Formeln weichen nur im Gehalte des Wasserstoffs von einander ab. Mir scheint die Formel $C_{12}H_{22}O_3$ die richtige, weil die Entstehung der Xylitnaphtha aus dem Xylit nach dieser Formel am leichtesten erklärt werden kann. Die Xylitnaphtha ist, wie aus der Vergleichung der Formel der Xylitnaphtha $C_{12}H_{22}O_3$ mit der Formel für den Xylit $C_{12}H_{24}O_4$ hervorgeht, durch Ausscheidung von 2 At. Wasserstoff und 1 At. Sauerstoff in Form von Wasser entstanden.

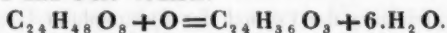
Bei längerer Einwirkung von Kali geht die Xylitnaphtha in Xylitöl $C_{12}H_{18}O$ über, dadurch, dafs noch weitere 2 At. Wasser austreten.



Dieses Xylitöl entsteht ausserdem, nach den Untersuchungen von Löwig und Schweizer, bei der Einwirkung von Kali und Aceton. Das Xylitöl besitzt nach den Genannten einen bitteren brennenden Geschmack und einen eigenthümlichen Geruch. Der Siedepunkt desselben liegt über $200^{\circ} C$.

Außer der Xylitnaphtha und dem Xylitöl entsteht bei der Einwirkung von Kali auf Xylit noch ein harzartiger Körper, das Xylitharz. Findet diese Bildung von Harz bei Ausschluss der Luft statt, so kann das Harz nur auf die Weise entstehen, dafs Wasserstoff und Sauerstoff im Verhältniss wie im Wasser aus der Zusammensetzung des Xylits treten. Nach meinen Beobachtungen verharzt sich der Xylit bei Gegenwart von Kali ungleich leichter wenn die Luft Zutritt hat, als ausserdem. Das auf diese Weise erhaltene Harz muss nun nothwendigerweise einen Ueberschuss von Sauerstoff in der Analyse geben. Da nun bei dem gewöhnlichen Verfahren, Xylit und Kali in verschlossenen Gefässes auf einander wirken zu lassen, niemals ganz die Luft ausgeschlossen werden kann, so wird das auf solche Weise gebildete Harz einen kleinen Ueberschuss von Sauerstoff enthalten, oder es wird mehr Wasserstoff als Sauerstoff aus dem Xylit getreten seyn. Diefs

ergiebt sich, wenn man die von Schweizer und Weidmann für das Xylitharz aufgestellte Formel $C_{24}H_{36}O_3$ mit der Formel $C_{12}H_{24}O_4$ vergleicht. 2 At. Xylit nehmen 1 At. Sauerstoff aus der Luft auf, und geben 1 At. Xylitharz und 6 At Wasser.



Ich habe dieses Xylitsalz nicht weiter untersucht, und lasse es dahin gestellt, ob es eine einfache, oder eine gemengte Substanz sey.

Das Kali wirkt, wie aus dem Vorhergehenden folgt, auf den Xylit ähnlich wie die Schwefelsäure und wasserfreie Phosphorsäure auf viele organische sauerstoffhaltige Körper. Das Kali bedingt die Vereinigung eines Theils Wasserstoffs mit der aequivalenten Menge Sauerstoffs zu Wasser.

Diese Erklärungsweise der Bildung von Xylitnaphtha Xylitöl und Xylitharz ist sicher viel einfacher, als die von Schweizer und Weidmann aufgestellte, die so weitläufig und zugleich so geschraubt ist, dafs ich sie hier unmöglich im Auszug wiedergeben kann, und daher auf die Abhandlung selbst verweise.

Verhalten des Xylits gegen concentrirte Schwefelsäure.

Vermischt man den Xylit nach und nach, damit sich die Flüssigkeit nicht zu sehr erhitze, mit seinem gleichen Gewicht concentrirter Schwefelsäure, so erhält man eine dickflüssige dunkelbraune Masse, woraus sich auf Zusatz einer gröfseren Menge Wasser nur wenig eines gefärbten Harz abscheidet. Aus dieser sauren Flüssigkeit läfst sich im Wasserbade ungefähr die Hälfte Xylit unverändert wieder abdestilliren. Bei weiterer Destillation über freiem Feuer geht Xylitnaphtha und Xylitöl über. Ein anderer Theil des Xylits ist durch die concentrirte Schwefelsäure in ein braunes Harz umgewandelt, das sich durch Neutralisiren der Flüssigkeit abscheidet. Es entsteht hierbei nur eine sehr geringe Menge einer gepaarten Schwefelsäure, denn wenn man einen Theil der sauren Flüssigkeit, der

nicht im Wasserbade destillirt wurde, mit kohlensaurem Bleioxyd sättigt, so enthält die vom schwefelsauren Bleioxyd abfiltrirte Flüssigkeit nur eine Spur Bleioxyd aufgelöst. Beim Verdunsten derselben in gelinder Wärme bleibt nur eine sehr geringe Menge einer weichen Substanz zurück.

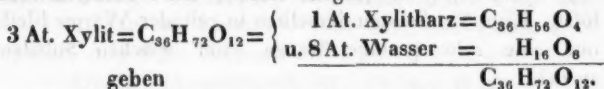
Die harzartige Masse, die sich hierbei bildet, stellt sich nach Schweizer und Weidmann als eine braune Substanz dar. Dieselbe enthält nach einer Analyse von Schweizer und Weidmann in 100 Theilen:

Kohlenstoff	78,26
Wasserstoff	10,06
Sauerstoff	11,68
	<u>100,00,</u>

Schweizer und Weidmann halten diese Substanz für identisch mit dem Harz, das sich durch Einwirkung von Kali auf Xylit bildet, und das nach der Formel $C_8H_{12}O$, oder $C_{24}H_{36}O_3$ zusammengesetzt ist. Allein die gefundenen Resultate weichen zu sehr von denen nach obiger Formel berechneten ab, als daß die Formel $C_{24}H_{36}O_3$ richtig seyn könnte, auch sieht man nicht ein, woher hier der überschüssige Sauerstoff kommen sollte. Da bei dem Vermischen des Xylits mit concentrirter Schwefelsäure sich keine schwefelige Säure entwickelt, und da ferner keine gepaarte Schwefelsäure entsteht, so kann das Harz nur auf die Weise entstanden seyn, daß Wasserstoff und Sauerstoff in Form von Wasser sich ausgeschieden haben. Auf die Analyse von Schweizer und Weidmann paßt viel besser die Formel $C_9H_{14}O$ oder $C_{36}H_{56}O_4$, die in 100 Theilen verlangt:

	Berechnet.		Gefunden.
			S. u. VV.
9 At. Kohlenstoff	675,00	78,26	78,26
14 At. Wasserstoff	87,50	10,14	10,06
1 At. Sauerstoff	100,00	11,60	11,68
	<u>862,50</u>	<u>100,00</u>	<u>100,00.</u>

Das Harz ist alsdann auf die Weise entstanden, daß aus 3 At. Xylit durch die Einwirkung der concentrirten Schwefelsäure 8 At. Wasser ausgeschieden wurden.



Ob diese harzartige Substanz ein einfacher oder gemengter Körper sey, muß ich unentschieden lassen.

Bei längerer Einwirkung der Schwefelsäure auf den Xylit entsteht mehr von der harzartigen Substanz, mehr Xylitnaphtha und Xylitöl. Da nun auch die Xylitnaphtha, wie das Xylitöl, aus dem Xylit durch Ausscheidung von Wasserstoff und Sauerstoff im Verhältniß wie im Wasser entstanden ist, so ist die Wirkung der Schwefelsäure auf den Xylit gleich dem des Kali, und analog der Wirkung der Schwefelsäure auf andere organische Körper.

Nach Schweizer und Weidmann entstehen, bei der Mischung von Schwefelsäure und Xylit, außer den genannten Körpern noch Holzätherschwefelsäure und Essigsäure. Die Bildung dieser zwei Körper rührt von beigemengtem essigsauren Methyloxyd her. Destillirt man eine solche Mischung mit dem gleichen Gewicht concentrirter Schwefelsäure, so geht zuerst etwas unveränderter Xylit über, aber so wie die Masse ins Kochen geräth, entweicht mit dem übergehenden Xylit eine große Menge schwefeliger Säure, während sich zugleich die Masse aufbläht und schwärzt; zuletzt geht mit einer wässrigen Flüssigkeit eine geringe Menge eines gelblich gefärbten Oels unter Verbreitung eines sehr widerlichen Geruchs über. In der Retorte bleibt alsdann nur eine schwarze kohlige Masse zurück.

Das Destillat wurde zur Sättigung der schweflichen Säure mit Kalilauge geschüttelt, wobei zugleich der widerliche Geruch verschwand, und darauf im Wasserbade destillirt. Die im Wasserbade übergehende geistige Flüssigkeit wurde hierauf über Chlorcalcium entwässert und nochmals destillirt. Die Flüssigkeit beginnt bei 60° C. zu kochen, der

Koch-

Kochpunkt steigt aber rasch auf 62° C., von da langsam auf 65° C., zwischen welchen Temperaturen der grösste Theil der Flüssigkeit übergeht; zuletzt steigt jedoch der Siedepunkt über 70° C.

Die zwischen 62 und 65° C. übergehende Flüssigkeit ist, wie die folgende Analyse zeigt, nicht anders als reiner Xylit.

0,360 Gr. der Substanz gaben 0,820 Gr. Kohlensäure und 0,342 Grm. Wasser.

In 100 Theilen.

	Berechnet.	Gefunden.
Kohlenstoff	62,09	62,07
Wasserstoff	10,55	10,34
Sauerstoff	27,36	27,59
	<u>100,00</u>	<u>100,00.</u>

Nach Schweizer und Weidmann entsteht bei der Destillation von Xylit mit Schwefelsäure eine neue Substanz, das Mesiten, welches mit unverändertem Xylit übergeht. Dieses Mesiten, das nach Schweizer und Weidmann die Formel $C_6H_{12}O_3$ hat, soll von dem Xylit durch Chlorcalcium, worin der Xylit auflöslich sey, getrennt werden können.

Da sich nun bekanntlich der Xylit nicht mit Chlorcalcium in Stücken verbindet, so konnte auch keine Trennung dieser neuen Substanz von dem Xylit bewirkt werden. Dieses Mesiten ist, wie aus dem Verhalten gegen Kali, Schwefelsäure u. s. w. hervorgeht, nichts anders als ein Gemisch von Xylit mit essigsaurem Methyloxyd. Diese Ansicht wird noch ferner unterstützt durch die von Schweizer und Weidmann für das Mesiten aufgestellte Formel $C_6H_{12}O_3$. Zieht man von der doppelten Formel $C_{12}H_{14}O_6$ ein At. essigsaures Methyloxyd $C_4H_6O_3$, $C_2H_4O = C_6H_{12}O_4$ ab, so bleiben die Elemente des Xylits $C_6H_{12}O_2$ übrig.



Dieses essigsaure Methyloxyd war natürlich in dem von Schweizer und Weidmann angewandten Xylit

enthalten. Das essigsäure Methyloxyd wird bekanntlich durch concentrirte Schwefelsäure zersetzt; Schweizer und Weidmann geben daher ganz richtig an, daß man um das Mesiten (Gemisch von Xylit und essigsäurem Methyloxyd) zu erhalten, entweder etwas wasserhaltigen Xylit oder etwas wasserhaltige Schwefelsäure anwenden müsse.

Außer dem Xylit geht noch eine wässerige Flüssigkeit, in der gelbliche Oeltröpfchen schwimmen, bei der Destillation des Xylits mit Schwefelsäure über. Diese ölbartige Substanz hat einen viel höheren Siedepunkt als der Xylit. Nachdem dieser im Wasserbade überdestillirt war, so wurde die Destillation über freiem Feuer fortgesetzt, wobei mit dem Wasser eine farblose Flüssigkeit überdestillirte, die leichter als Wasser ist. Dieselbe wurde über Chlorcalcium entwässert, und darauf destillirt. Die Flüssigkeit beginnt bei 100° C. zu kochen, der Siedepunkt steigt rasch auf 170° C.; zwischen 170° und 180° C. geht der größte Theil der Flüssigkeit über; zuletzt steigt jedoch der Siedepunkt über 200° C. Von dieser Flüssigkeit habe ich, obgleich ich mehrmals 4 bis 5 Unzen Xylit mit eben so viel Schwefelsäure destillirte, doch im Ganzen nur 2 bis 3 Grammen erhalten, so daß es mir bis jetzt nicht möglich war, dieselbe genauer zu untersuchen.

Nach Schweizer und Weidmann, welche diese Substanz Methol nennen, ist dieselbe ein Kohlenwasserstoff von der Formel $C_{12}H_{18}$.

Der Theorie und Analogie gemäß sollte sich bei der Destillation des Xylits $C_{12}H_{24}O_4$ mit concentrirter Schwefelsäure ein Kohlenwasserstoff von der Formel $C_{12}H_{16}$ bilden, der mit dem Oenol oder Mesitylen C_6H_8 , welches bei der Destillation des Acetons mit concentrirter Schwefelsäure entsteht, isomerisch wäre. Wie man sieht, so weicht die theoretische Formel für das Methol von der von Schweizer und Weidmann aufgestellten nicht so bedeutend ab, als daß es nicht möglich wäre, daß das Methol nach der Formel $C_{12}H_{16}$ zusammengesetzt sey.

Leider bin ich gegenwärtig aus Mangel an Substanz

verhindert, diese Frage zu lösen; ich gedenke aber auf dieselbe zurückzukommen. Dieser Kohlenwasserstoff $C_{12}H_{16}$ ist in den flüchtigen Oelen des Holztheers enthalten, wie aus meiner Abhandlung über das Eupion zu ersehen ist.

Untersuchung der Flüssigkeit B.

Diese begreift die flüchtigen Körper, deren Siedepunkt über 70° C. liegt und sich bis 120° C. erstreckt.

Als diese Flüssigkeit nochmals für sich destillirt wurde, begann das Sieden bei 63° C., das Thermometer stieg aber rasch auf 65 und 70° C. und von da langsam bis 80° C. Zwischen 70 und 80° C. geht ungefähr die Hälfte der Flüssigkeit über; diese Menge wurde besonders aufgefangen. Von 80 bis 100° C., wobei das Thermometer langsam steigt, destillirt ungefähr der dritte Theil über, und der Rest von 100 bis 120° C. Hier wurde, da nur noch ganz wenig gelblich gefärbte Flüssigkeit vorhanden war, die Operation unterbrochen.

Jede dieser drei Portionen Flüssigkeit wurde wieder umdestillirt. Die von 70 bis 80° C. übergegangene Flüssigkeit beginnt schon bei 62° C. zu kochen, das Thermometer geht ziemlich rasch auf 65° C., aber von da nur langsam auf 70° C., so daß jetzt ungefähr die Hälfte der Flüssigkeit, welche vorher, als sie mit anderen gemischt war, zwischen 70 und 80° C. destillirte, zwischen 65 und 71° C. übergeht. Diese Erscheinung bei der Destillation gemischter Flüssigkeiten tritt bei jeder neuen Destillation derselben ein, wie ich bereits früher hervorgehoben habe.

Diese von 62 bis 71° C. übergegangene Substanz ist ganz identisch mit der im Vorhergehenden beschriebenen und analysirten. Nachdem der Siedepunkt auf 70° C. gestiegen war, wurde die Vorlage gewechselt, und das bei langsam steigendem Thermometer bis 75° C. Uebergehende sowie das von 75 bis 80° C. Ueberdestillirende, besonders aufgefangen. Beide Portionen waren nahezu einander gleich. Bei 80° C. blieb ein Rückstand in der Retorte. Zu die-

sem wurde der Theil der Flüssigkeit gefügt, der zwischen 80 und 100° C. übergang. Auch hier begann die Flüssigkeit unter 80° C. zu kochen, so daß bis 80° C. schon ein Theil übergegangen war. Sowie der Siedepunkt auf 80° C. gestiegen war, wurde die Flüssigkeit besonders aufgefangen, nämlich das von 80 bis 90° C., sowie das von 90 bis 100° C. Uebergangende. Bei 100° C. blieb wieder ein Rückstand, welcher mit der von 100 bis 120° C. übergegangen Flüssigkeit nochmals umdestillirt wurde.

Die Gesamtmenge der von 70 bis 120° C. überdestillirenden Flüssigkeit betrug ungefähr 6 bis 7 Unzen, und diese waren aus 24 Maafs Holzgeist gewonnen worden. Schweizer und Weidmann erhielten diese Flüssigkeiten gleichfalls nur in geringer Menge, daher erstrecken sich ihre Untersuchungen nur auf die bei 71° C. destillirende Flüssigkeit. Die vier ersten Portionen der Flüssigkeit, deren Siedepunkt zwischen 71 und 100° C. liegt, haben einen ähnlichen durchdringenden ätherartigen Geruch und Geschmack, der etwas von dem der letzten Portion verschieden ist. Das specifische Gewicht der nach einander überdestillirenden Flüssigkeiten nimmt mit dem Siedepunkte zu, wie folgende Zusammenstellung zeigt:

Das spec. Gew. d. 1. Portion, Siedep. 70—	75° C., ist =	0,813
„ „ „ 2. „ „ 75—	80 „ „ =	0,818
„ „ „ 3. „ „ 80—	90 „ „ =	0,820
„ „ „ 4. „ „ 90—	100 „ „ =	0,828
„ „ „ 5. „ „ 100—	120 „ „ =	0,835.

Bei der Analyse wurden folgende Resultate erhalten:

- I. 0,218 Gr. der ersten Portion gaben
0,497 Gr. Kohlensäure und 0,209 Gr. Wasser.
- II. 0,223 Gr. der zweiten Portion gaben
0,518 Gr. Kohlensäure und 0,216 Gr. Wasser.
- III. 0,239 Gr. der dritten Portion gaben
0,558 Gr. Kohlensäure und 0,232 Gr. Wasser.
- IV. 0,354 Gr. der vierten Portion gaben
1,852 Gr. Kohlensäure und 0,346 Gr. Wasser.
- V. 0,378 Gr. der fünften Portion gaben
0,928 Gr. Kohlensäure und 0,364 Gr. Wasser.

In 100 Theilen:

	I.	II.	III.	IV.	V.
Kohlenstoff	62,18	63,35	63,68	65,64	66,95
Wasserstoff	10,66	10,74	10,76	10,84	10,67
Sauerstoff	27,16	25,91	25,56	23,52	22,38
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00.

Aus diesen Analysen geht hervor, dafs die von 70 bis 75° C. übergehende Flüssigkeit, welche Schweizer und Weidmann Mesit nennen, übereinstimmend mit den Analysen von Schweizer und Weidmann dieselbe procentische Zusammensetzung wie das Aceton und der Xylit hat.

		I.	I.	II.
		Berechnet.	Gefunden.	Schweizer und Weidmann.
12 At. Kohlenstoff	900	62,07	62,18	62,31 62,94
24 At. Wasserstoff	150	10,34	10,66	10,57 10,77
4 At. Sauerstoff	400	27,59	27,16	27,12 26,29
	1450	100,00	100,00	100,00 100,00.

Diese von 70 bis 75° C. übergehende Flüssigkeit ist entgegen den Angaben von Schweizer und Weidmann in allen Verhältnissen im Wasser löslich, und brennt mit leuchtender, nicht rufsender Flamme. Die von 75 bis 80° C. sowie die zwischen 80 und 90° C. übergehende Flüssigkeit weicht in der Zusammensetzung nicht so bedeutend von der des Xylits ab, als dafs man nicht annehmen könnte, dafs auch diese Flüssigkeiten aus mit dem Aceton und Xylit isomerischen Körpern beständen. Der höhere Gehalt an Kohlenstoff rührt unstreitig von einer Beimischung der weniger flüchtigen Flüssigkeiten her.

Die von 75 bis 90° C. übergehenden Flüssigkeiten schwimmen auf einer kleineren Menge Wasser, und lösen sich erst in einer gröfseren Menge Wassers auf, und zwar um so schwieriger, je höher der Siedepunkt ist. Sie brennen wie die folgenden mit stark leuchtender nicht rufsender Flamme.

Die von 90 bis 100° C., sowie zwischen 100 und 120° C. überdestillirenden Flüssigkeiten bestehen wohl grosentheils

aus Zersetzungsproducten des Acetons, Xylits u. s. w. in höherer Temperatur. Diefs gilt ganz besonders von den letzten zwischen 100 und 120° C. übergehenden Flüssigkeiten, die identisch mit der Xylitnaphtha $C_{12}H_{22}O_3$ ist, welche bekanntlich bei der Einwirkung von Aetzkali und Schwefelsäure auf Xylit entsteht. Die Wirkung der Wärme ist daher gleich mit der des Kali und der concentrirten Schwefelsäure auf Xylit. Alle drei Agentien bewirken eine Ausscheidung von Wasserstoff und Sauerstoff in Form von Wasser. Schwefelsäure und Kali wirken auf diese Flüssigkeiten ähnlich wie auf den Xylit.

Diese von 70 bis 120° C. übergehenden flüchtigen Körper sind in dem rohen Holzessig in viel größerer Menge enthalten, als sie hier aus dem Holzgeist abgeschieden werden konnten, indem der größte Theil derselben bei der Reinigung des Holzgeistes entfernt wird.

Aus dieser Untersuchung ergibt sich nun, dafs in dem Holzgeist eine grofse Anzahl flüchtiger Körper enthalten ist, die in der Zusammensetzung einander gleich sind, und auch sonst in ihrem Verhalten nicht sehr von einander abweichen. Diese Körper, Aceton, Mesit, Xylit u. s. w. sind, wie ihre Zusammensetzung beweist, Zersetzungsproducte der Essigsäure. Sie sind entstanden, indem in hoher Temperatur aus den Elementen der Essigsäure $C_4H_6O_3 + H_2O$, Wasser und Kohlensäure sich trennten; das restirende Glied C_3H_6O hat nun, je nach der Temperatur, bei welcher die Zersetzung eintrat, einen verschiedenen Dichtigkeitszustand angenommen, und es sind auf diese Weise die einander so ähnlichen Körper, Aceton, Xylit u. s. w. entstanden, deren Anzahl ohne Zweifel viel größer ist, als die Zahl der angeführten Namen.

Ein Theil dieser Körper entging der weiteren Zersetzung, während ein anderer Theil durch die hohe Temperatur noch weiter verändert wurde, in der Art, dafs Wasserstoff und Sauerstoff im Verhältnifs wie im Wasser sich ausscheiden, und als Endglieder die Kohlenwasserstoffe von

der Formel $n(C_3H_4)$, welche ich bereits in meiner Abhandlung über das Eupion beschrieben habe, entstanden.

Die in meiner Abhandlung ausgesprochene Ansicht, daß die Brandöle, welche sich bei der Destillation des Holzgeistes erzeugen, Zersetzungsproducte der Essigsäure seyen, erhält nun durch diese Untersuchung über den Holzgeist ihre Bestätigung, indem wir hier die Körper Aceton, Xylit, Mesit u. s. w. finden, aus denen die Kohlenwasserstoffe von der Formel $n(C_3H_4)$ sich gebildet haben.

Schließlich muß ich noch einiges über die Namen der in vorliegender Abhandlung beschriebenen Körper sagen. Ich habe mich hier ganz an die bisjetzt gebräuchlichen gehalten, und neue vermieden. Ich glaube, daß man sogar von den Namen Xylit, Mesit absehen, da diese doch keine Beziehung zur Essigsäure ausdrücken, und sich bloß an den Namen Aceton halten könne. Zur näheren Bezeichnung der verschiedenen Arten des Acetons könnte man vor das Wort Aceton noch den Anfangsbuchstaben des griechischen Alphabets setzen. Das gewöhnliche Aceton, das durch Destillation der essigsauren Salze erhalten wird, würde bezeichnet werden: α Aceton, der Xylit: β Aceton u. s. w. Eine ähnliche Bezeichnungsweise ließe sich auch auf die Kohlenwasserstoffe von der Formel $n(C_3H_4)$, die mit den Mesitylen, dem Oenol nach Berzelius, isomerisch sind, anwenden.

Wenngleich diese Bezeichnungsweise nicht allen Anforderungen entspricht, so hat sie doch den Vortheil, daß die große Anzahl der vorhandenen Namen nicht durch neue vermehrt wird.

V. *Bemerkungen über das Krystallisationensystem
des Karstenites, nebst Beiträgen zur Kunde des
Homöomorphismus im Mineralreiche;
von Fr. L. Hausmann.*

(Zum Theil entlehnt aus den Nachrichten von der G. A. Universität und der Königl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. 1851. No. 6.)

Vor längerer Zeit erhielt ich eine Kalkspathdruse von St. Andreasberg am Harz, mit Krystallen eines für Zeolith angesprochenen Minerals, die bei genauerer Untersuchung als Krystalle des wasserfreien Gypses oder *Karstenites* von mir erkannt wurden. So viel ich weiß, ist dieses Fossil unter der großen Anzahl von Mineralsubstanzen, durch welche die St. Andreasberger Erzgänge sich auszeichnen, früher nicht bemerkt worden. Der Fund war aber nicht bloß wegen der Seltenheit, sondern auch aus dem Grunde von besonderem Interesse, weil er zur Kenntniss von bisher nicht beobachteten Krystallisationen des Karstenites führte, welche in ihrem Habitus von den bis jetzt bekannten, und namentlich durch Graf v. Bournon, Haüy, Levy und Miller beschriebenen und dargestellten Formen abweichen, indem sie mit gewissen Krystallisationen des Schwerspathes und Cölestins Aehnlichkeit haben. Ein Theil der Krystalle erscheint in der Form eines wenig geschobenen vierseitigen, durch die von Miller mit *s* bezeichneten Flächen ¹⁾ gebildeten Prisma von $91^{\circ} 10'$ und $88^{\circ} 50'$ an den Enden gerade zugespitzt, die Zuschärfungsflächen (*D'*) gegen die größeren Seitenkanten gesetzt, die Zuschärfungskante von etwa 81° , nach einer Messung mit dem Anlegegoniometer, indem die Anwendung des Reflexionsgoniometers nicht zulässig war. Andere Krystalle stellen sich als stark geschobene vierseitige Prismen (*d*) von ungefähr 105° und 75° dar, an den En-

1) Pogg. Ann. Bd. 55, S. 526. Taf. II. Fig. 33. — Naumann's Elemente der Mineralogie. 2. Aufl. S. 265.

den durch dieselben Flächen zugeschärft, welche der ersten Form eigen sind, bei diesen aber gegen die scharfen Seitenkanten gerichtet. Es zeigen sich auch beide Arten verticaler Prismen zu einer achtseitig prismatischen Form combinirt; und mit ihnen sind an einigen Individuen die Flächen *B* vorhanden, welche die kleineren Seitenkanten des ersten, und die stumpfen Seitenkanten des zweiten Prisma abstumpfen. Sämmtliche Krystalle besitzen eine säulenförmige Verlängerung in der Richtung der Hauptaxe, und haben eine verschiedene Gröfse, indem ihre Länge von etwa 3 Par. Linien bis zu $\frac{1}{2}$ Par. Zoll beträgt. Die verticalen Flächen *s* sind uneben, mit einer Anlage zu Längsstreifen, die Flächen *d* und *B* dagegen glatt, so wie die Zuschärfungsflächen *D'*. Die Flächen *s* haben einen vollkommenen Perlmutterglanz, die Flächen *d* einen Glanz, der zwischen Glas- und Perlmutterartigem die Mitte hält; die übrigen Flächen sind von vollkommenem Glasglanz. Gegen die Zuschärfungsflächen gesehen, stellt sich zuweilen ein heller, mit bunten Farben spielender Lichtschein in der Art dar, wie man ihn nicht selten am Apophyllite wahrnimmt, wenn man gegen die horizontalen Flächen desselben sieht; der hier wie dort von aus dem Innern durch Absonderungsflächen zurückgeworfenen Lichtstrahlen herrührt. Die dem Karstenite eigenthümlichen Blätterdurchgänge gaben sich an den Krystallen in Sprüngen kund, besonders nach den beiden Diagonalebene. Ausserdem nimmt man ausgezeichnete Sprünge in der Richtung der Zuschärfungsflächen, und auch Spuren von Blätterdurchgängen nach den Flächen *s*, und besonders nach *d* wahr. Die netteste Spaltung erfolgt, wenn man Stücke der Krystalle in einer Glasröhre der Löthrohrflamme nähert, wodurch solche in rechtwinklig parallelepipedische Stücke zerspringen. Die Krystalle sind weifs; theils durchscheinend, theils halbdurchsichtig. Sie erscheinen auf solche Weise mit Kalkspathkrystallen verwachsen, dafs die gemeinschaftliche Krystallisirung beider Mineralsubstanzen nicht bezweifelt werden kann.

Der Typus der beschriebenen Karstenitkrystalle legt eine Vergleichung derselben mit den bekannten Formen des Schwerspathes und Cölestins nahe; und indem man versucht, jene mit diesen in Einklang zu bringen, so macht sich eine Analogie bemerklich zwischen den Flächen D' und den von Haüy bei dem Schwerspath und Cölestin mit M bezeichneten Flächen; so wie zwischen den Flächen d des Karstenites und den von Haüy mit demselben Buchstaben bezeichneten Flächen des Schwerspaths und Cölestins, welchen nach meiner Methode das Zeichen BB_2 zukommt ¹⁾. Auch weichen die Neigungswinkel jener Flächen am Karstenite von den analogen Flächen am Schwerspath und Cölestin nur um wenige Grade ab. Es entsteht dabei aber die Frage, auf welche Weise die an obigen Karstenitkrystallen beobachteten neuen Flächen mit denen zu reimen sind, welche an den früher genauer untersuchten Formen des Karstenites vorkommen? Bei dem Versuche, den Zusammenhang unter diesen verschiedenen Flächen aufzufinden, habe ich die von Miller mitgetheilten Winkelmessungen zum Grunde gelegt. Obgleich er selbst sie nicht für sehr genau erklärt, so nähern sie sich doch ohne Zweifel der Wahrheit mehr, als die bedeutend davon abweichenden Angaben Haüy's, die in meinem Handbuche der Mineralogie noch beibehalten wurden.

Angenommen, daß die Flächen d dem Verhältnisse BB_2 entsprechen, so ergibt sich, daß den Flächen s das Zeichen $BB_{\frac{3}{2}}$ zukommt; und hiernach die Basiswinkel berechnet, werden solche zu $113^\circ 42'$ und $66^\circ 18'$ bestimmt. Die Flächen d machen alsdann mit einander Winkel von $105^\circ 8'$ und $74^\circ 52'$. Mit der Neigung der Flächen D' in der Brachydiagonalzone, läßt sich die Lage der von Miller durch r bezeichneten Flächen in der Makrodiagonalzone, deren gegenseitige Neigung nach seiner Angabe $96^\circ 36'$ beträgt, reimen, wenn man dieß als dem Verhält-

1) Hinsichtlich der von mir angewandten Bezeichnungsart muß ich auf den ersten Theil der zweiten Ausgabe meines Handbuches der Mineralogie, S. 126 ff. verweisen.

nisse $BA\frac{5}{7}$ entsprechend ansieht, bei welcher Voraussetzung die Gränzflächen D , welche den von Häüy mit o bezeichneten Flächen entsprechen, eine gegenseitige Neigung von $105^\circ 16'$ haben. Hiernach ergibt sich dann die gegenseitige Neigung der Flächen D' zu $81^\circ 6'$. Durch diese Annahmen verändern sich natürlicher Weise die Zeichen für die Flächen, welche bei Miller die Buchstaben o , n und c führen; und es versteht sich von selbst, daß ihre Verhältnisse einen nicht so einfachen Ausdruck gestatten, als wenn man ihre Neigung unmittelbar auf die der Flächen r bezieht, indem man sie als Glieder einer transversalen Hauptzone, und die Flächen o als die primären betrachtet. Da sie nun sämmtlich als Glieder einer transversalen Nebenzone erscheinen, so gelten für sie folgende Zeichen: für o ($AB\frac{1}{6} \cdot DB\frac{2}{3}$); für n ($AB\frac{1}{6} \cdot B'D\frac{3}{4}$); und für c ($AB\frac{1}{6} \cdot B'D^2$). Wird nach obigen Daten eine hypothetische Grundform für das Krystallisationssystem des Karstenites berechnet, so ist das Verhältniß der Hauptaxe zu den beiden Nebenaxen oder von $A:B:B'$ wie $0,7636:1:0,6531$, und die Kantenwinkel des primären Rhomben-octaëders sind: $127^\circ 14'$, $91^\circ 14'$, $108^\circ 46'$. Werden nun diese Winkel mit denen der Grundformeln des Schwerspathes und Cölestins verglichen, so erscheint die Abweichung von den Winkeln dieser nicht größer, als die Verschiedenheit unter den Winkeln dieser beiden Mineralsubstanzen und des Bleivitriols, welche längst als isomorphe Sulfate gegolten haben.

Da die schönen Untersuchungen von Hermann Kopp den Zusammenhang zwischen dem Isomorphismus, oder richtiger Homöomorphismus, und der Annäherung der Größe des Atomvolums auf eine so überzeugende Weise nachgewiesen haben, so lag es nahe, auch für diesen Fall das Verhalten zwischen dem Atomvolum des Karstenites und dem jener anderen Sulfate zu prüfen. Das Atomvolum des Karstenites wurde im Mittel zu 289,99 gefunden, dagegen es bei dem Schwerspath zu 329,37, bei dem Cölestin zu 293,47 und bei dem Bleivitriol zu 300,75 sich er-

gab. Wird nun die Differenz zwischen dem Atomvolum von Karstenit und Cölestin nach dem von Hrn. Kopp angegebenen Verfahren ¹⁾ bestimmt, indem

$$D = \frac{V - V_1}{\frac{1}{2}(V + V_1)},$$

so beträgt sie nur 0,0119. Die Atomvolumen von Karstenit und Cölestin stehen mithin einander so nahe, daß man beinahe vollkommenen Isomorphismus dieser beiden Mineralsubstanzen vermuthen sollte, und es wohl nicht unwahrscheinlich ist, daß die bedeutendere Verschiedenheit der Krystallwinkel in einer noch zu wenig genauen Bestimmung ihrer Gröfse am Karstenite liegt.

Nachdem sich durch vorstehende Untersuchung eine so nahe Verwandtschaft zwischen dem Krystallisationssysteme des *Karstenites* und den Systemen des *Cölestins*, *Schwerspathes* und *Bleivitriols* herausgestellt hatte, so lag die Vermuthung, daß auch die Formencomplexe des *Glaserits* (schwefelsauren Kali's) und *Thenardits* (schwefelsauren Natrons) in ähnlichen Verhältnissen zu den Krystallisationensystemen jener wasserfreien Sulfate stehen dürften, um so näher, da ja bekanntlich Kali, Natron, Kalkerde, Strontianerde, Baryterde, Bleioxyd, in verschiedenen Verbindungen als stellvertretende Basen erscheinen.

Das Krystallisationensystem des *Glaserits* ist sowohl durch Mohs ²⁾ als auch durch Mitscherlich ³⁾ genauer bestimmt. Die Winkelangaben Beider weichen nicht bedeutend von einander ab, und durch eigene Messungen habe ich mich von ihrer Richtigkeit überzeugen können. Beide haben die Krystallisationen des schwefelsauren Kalis in einer Stellung betrachtet, bei welcher ihre Verwandtschaft mit den Formen der anderen wasserfreien Sulfate mit Basen = R nicht hervorleuchtet. Anders verhält es sich, wenn man den Krystallen, wie es bereits in der

1) Pogg. Ann. Bd. LIII, S. 446.

2) Leicht fälschliche Anfangsgründe der Naturgeschichte des Mineralreichs, 2. Th. Physiographie, bearb. v. Zippe. 2. Aufl. S. 56.

3) Pogg. Ann. Bd. XVIII, S. 171.

zweiten Ausgabe meines Handbuches der Mineralogie geschehen, durch eine Drehung um einen rechten Winkel eine Stellung giebt, die das Krystallisationssystem als ein solches erscheinen läßt, bei welchem das Verhältniß unter den Horizontalaxen sich dem von $1:\sqrt{3}$ nähert. Als dann sind, wenn die Bestimmungen von Mohs zum Grunde gelegt werden, die Basiswinkel von $120^{\circ} 29'$ und $59^{\circ} 31'$. Das Axenverhältniß ist $0,7431:1:0,5717$; die Kantenwinkel des primären Rhombenoctäders sind $131^{\circ} 15'$, $87^{\circ} 34'$, $112^{\circ} 32'$; und es mißt die gegenseitige Neigung der Flächen D , $106^{\circ} 46'$, so wie die der noch nicht beobachteten Flächen D' , $75^{\circ} 8'$; welche Größen von den Neigungen der analogen Flächen des Schwerspathes, Cölestins und Bleivitriols nur wenig abweichen. Dieser Annäherung entspricht denn auch die geringe Differenz unter den Atomvolumen, indem das Atomvolum des *Glaserits* im Mittel 412,23 ist. Die Differenz zwischen diesem und dem Atomvolum des *Schwerspathes* beträgt, auf obige Weise berechnet, 0,223; so wie die Differenz zwischen dem Atomvolum des *Glaserits* und dem des *Bleivitriols*, 0,313; welche Unterschiede nicht so groß sind, als z. B. die Differenz zwischen den Atomvolumen des *Arragonits* und *Witherits*, welche bekanntlich als isomorphe Substanzen gelten.

Die Winkel der Krystallisationen des *wasserfreien schwefelsauren Natrons*, mit welchem der in der Natur sich findende *Thenardit* übereinstimmt, hat Mitscherlich gemessen ¹⁾. Die Stellung, welche von ihm den Krystallen gegeben, läßt eben so wenig als die bei dem schwefelsauren Kali von ihm gewählte, eine nahe Verwandtschaft des Systems mit den Formencomplexen der anderen wasserfreien Sulfate mit Basen = R erkennen. Aber auch hier kommt sie zum Vorschein, wenn man die Krystalle um einen Winkel von 90° dreht, wodurch die längere Nebenaxe zur Hauptaxe wird, und die Flächen d in eine horizontale Lage gebracht werden. Die Basiswinkel sind alsdann von $118^{\circ} 46'$ und $61^{\circ} 14'$. Eine hypothetische Grund-

1) Pogg. Ann. Bd. XII, S. 139. Taf. I. Fig. 1. 2.

form, deren Winkelverhältnisse sich denen der Grundformen anderer wasserfreier Sulfate mit Basen $= R$ nähern, wird gefunden, wenn die von Mitscherlich für die primären angenommen und mit P bezeichneten Flächen für secundäre angesehen werden, die dem Verhältnisse $AE\frac{5}{3}$ entsprechen. Alsdann wird das Axenverhältniß 0,7494 : 1 : 0,5918; und es messen die Kantenwinkel der hypothetischen Grundform: $130^{\circ} 8'$, $89^{\circ} 12'$, $111^{\circ} 38'$. Die gegenseitige Neigung der Flächen D würde $106^{\circ} 18'$, so wie die der Flächen D' , $76^{\circ} 34'$ betragen. Diese Winkel nähern sich denen des schwefelsauren Kalis sehr, und weichen von den Winkeln des Bleivitriols, Schwerspathes und Cölestins noch weniger ab, als die des Glaserits. Damit steht denn auch die Gröfse des Atomvolums im Einklange, welches bei dem wasserfreien schwefelsauren Natron im Mittel 330,18 ist, und also mit dem des Schwerspathes beinahe vollkommen übereinstimmt.

Zur besseren Uebersicht der hier dargelegten Verhältnisse, mögen folgende Zusammenstellungen dienen:

	Spec. Gew.		Atomgew. ¹⁾		Atomvolum.
Glaserit	{ 2,6232 Karsten	{	1089,3	{	415,26 } 412,23
	{ 2,662 Kopp				
Thenardit	{ 2,73 Cordier	{	887,17	{	324,95 } 330,18
	{ 2,645 Thomson				
Schwerspath	{ 4,356 D. L. G. Karsten	{	1458	{	334,7 } 329,37
	{ 4,446 Mohs				
	{ 4,48 G. Rose				
Bleivitriol	{ 6,3 Häuy	{	1894,5	{	300,7 } 300,75
	{ 6,298 Mohs				
Cölestin	{ 3,967 D. L. G. Karsten	{	1148	{	289,38 } 293,47
	{ 3,858 Mohs				
Karstenit	{ 2,964 Klaproth	{	850	{	286,77 } 286,99
	{ 2,899 Mohs				

1) Es sind hier die neuesten Bestimmungen der Atomgewichte benutzt, wie sie sich in der zehnten Auflage von Wöhler's Grundriss der unorganischen Chemie von diesem Jahre finden.

	Atom- volum.	Axenverhältnifs $A : B : B'$	Neigungen der Flächen		
			E $[\infty A : B : B']$	D $[A : B : \infty B']$	D' $[A : \infty B : B']$
K S	412,23	0,7431 : 1 : 0,5717	120° 29'	106° 46'	75° 8'
Na S	330,18	0,7494 : 1 : 0,5918	118 46	106 18	76 34
Ba S	329,37	0,7659 : 1 : 0,6234	116 22	105 6	78 18
Pb S	300,75	0,7686 : 1 : 0,6084	117 20	104 55	76 49
Sr S	293,47	0,7817 : 1 : 0,6181	117 10	103 58	76 2
Ca S	289,99	0,7636 : 1 : 0,6531	113 42	105 16	81 6

Diese Zusammenstellung zeigt, dafs bei den wasserfreien Sulfaten mit Basen $= R$, mit der Abnahme der Atomvolumen, die Länge der kürzeren Horizontalaxe im Allgemeinen zunimmt, mithin die Gröfse des stumpfen Basiswinkels abnimmt, wobei allein der Schwerspath eine Ausnahme macht. Ein ähnliches Verhältnifs fand H. Kopp¹⁾ bei den orthorhombischen Carbonaten mit Basen $= R$. Bei diesen zeigte sich ein umgekehrtes Verhältnifs hinsichtlich der Hauptaxe, welches bei den Sulfaten nach obiger Zusammenstellung nicht in gleichem Maafse hervortritt.

Eine Vergleichung der wasserfreien Sulfate mit Basen $= R$ mit den orthorhombischen Systemen der wasserfreien Carbonate mit gleichen Basen, führt auf die Wahrnehmung, dafs auch unter diesen ein nahes Verwandtschaftsverhältnifs stattfindet. Der Unterschied zwischen den charakteristischen Winkeln der beiden Reihen von Salzen ist, wie aus einer unten gelieferten Zusammenstellung zu ersehen, nicht gröfser, als er bei den Krystallisationen derselben Reihe sich zeigt. Auch bestätigt sich hier der Zusammenhang zwischen der geringen Differenz der Atomvolumen und der Aehnlichkeit der Krystallisationssysteme. Die Atomvolumen der Carbonate sind sämmtlich kleiner als die der Sulfate; aber das gröfste Atomvolumen jener ist nur unbedeutend geringer, als das kleinste Atomvolumen dieser. Dabei macht sich bemerklich, dafs, wenn sich gleich auf solche Weise die Atomvolumen der orthorhombischen

1) Pogg. Ann. Bd. LII, S. 263.

Carbonate an die der Sulfate mit abnehmender Gröfse reihen, dasselbe doch nicht hinsichtlich der Axen- und der davon abhängigen Winkelverhältnisse der Fall ist; so wie auch die Stellen, welche die einzelnen Substanzen in den beiden Reihen hinsichtlich der Gröfse der Atomvolumen und der Axenverhältnisse einnehmen, nicht dieselben sind. Dabei ist es beachtungswerth, welche Annäherung unter den Winkeln der Sulfate und Carbonate, denen dieselben Basen angehören, stattfindet, und wie der Gröfse der Annäherung, die geringe Gröfse der Differenz der Atomvolumen entspricht. Nachfolgende Zusammenstellung ergibt hierüber das Nähere.

	Atomvo- lumen.	Differenz der Atom- volumen.	Neigungen der Flächen.		
			E [$\infty A:B:B'$]	D [$A:B:\infty B'$]	D' [$A:\infty B:B'$]
Ba S	329,37	0,139	116° 7'	106° 54'	78° 18'
Ba C	286,65		118 30	105 6	77 30
Sr S	293,47	0,139	117 10	103 58	76 2
Sr C	255,33		118 19	108 12	80 12
Pb S	300,75	0,149	117 20	104 55	76 49
Pb C	258,9		117 13	108 16	80 20
Ca S	289,99	0,316	113 42	105 16	81 6
Ca C	210,94		116 16	108 27	81 33

Naumann hat schon vor längerer Zeit auf die große Aehnlichkeit aufmerksam gemacht ¹⁾, welche zwischen den Krystallisationensystemen des *Arragonits* und *Kalisalpeters* nicht allein in den Winkeln der Grundform, sondern auch in dem Charakter der Flächencombinationen, und selbst in der Zwillingsbildung stattfindet. Die analogen Winkel beider Substanzen entfernen sich jedoch von einander um $1\frac{1}{2}$ — 3 Grad, und damit steht auch die Differenz der Atomvolumen im Zusammenhange, die sogar größer ist, als bei *Arragonit* und *Witherit*, welche nach H. Kopp ungefähr die Gränze zu bezeichnen scheint, wo der Erfahrung nach noch

1) Lehrbuch der Mineralogie. 1828. S. 261.

noch Homöomorphismus statt hat. Unter den orthorhombischen Carbonaten kommt der *Kalisalpeter* hinsichtlich der Basiswinkel dem *Witherit* am Nächsten, und hier zeigt sich auch die geringste Differenz unter den Atomvolumen.

Um den Homöomorphismus der wasserfreien Sulfate, Carbonate und Nitrate mit Basen $= R$ mit einem Blicke übersehen zu können, sind in nachfolgender Tabelle die Angaben der besonders charakteristischen Winkel nach verschiedenen Messungen zusammengestellt ¹⁾.

- 1) Die mit einem Stern bezeichneten Quellen, sind die in dieser Arbeit benutzten. Die Winkel, bei welchen ein Kreuz steht, sind nur berechnet, ohne daß die ihnen entsprechenden Flächen bisher an Krystallen beobachtet worden.

		E.		D.		D'		8 P.	
		[$\infty A: B: B'$]		[$A: B: \infty B'$]		[$A: \infty D: D'$]		[$A: B: B'$]	
Widherit	BaC	118° 30'		106° 54'		+ 77° 30'		130° 13', 87° 57', 110° 49'	
Alstonit	BaC + CaC	118 50 40"		107 5		+ 77 18		130 27, 89 40, 110 54	
Strontian	{ *Naumann	117 19		108 12		+ 80 12		130 1, 92 11, 108 35	
SrC	{ Dufrénoy	117 32		107 50					
Bleispath	{ Haüy	117 4		109 30					
PbC	{ *Mobs	117 13		108 16		+ 80 20		130 0, 92 19, 108 28	
	{ Dufrénoy	117 14		108 14					
Arragonit	{ Haüy	115 56		109 28		81 33		129 37, 93 30, 107 34	
CaC	{ *Kupffer	116 16		108 27					
	{ Dufrénoy	116 10		108 6					
Kalisalpeter	{ Haüy	120		111 14		+ 80 4		131 27, 91 28, 108 12	
KN	{ *Naumann	119		109 56					
	{ Dufrénoy	119 10		"					

Bisher war von dem Homöomorphismus der in vorstehender Uebersicht aufgeführten Mineralsubstanzen hauptsächlich nur in sofern die Rede, als derselbe sich in einer Annäherung der Axenverhältnisse und der davon abhängigen Krystallwinkel kund giebt. Obgleich hierdurch die Verwandtschaft unter Krystallisationen überhaupt bedingt wird, so zeigt sie sich doch nicht allein darin, sondern giebt sich auch in der Aehnlichkeit des Charakters der Flächencombinationen, des gesammten Habitus der Formen, der Art der Zwillingsbildung, der Beschaffenheiten des Blätterdurchganges zu erkennen. Diese Dinge können zwar für sich nicht als wesentliche Kennzeichen der Verwandtschaft unter Krystallisationensystemen gelten; sie vermögen doch aber dieselbe in verschiedenen Graden zu erhöhen. Wenn nun mit Rücksicht hierauf der Homöomorphismus unter den Mineralsubstanzen, welche den Gegenstand dieser Untersuchungen ausmachen, beurtheilt wird, so springt es sogleich in die Augen, daß unter den wasserfreien Sulfaten mit Basen $= R$ der höchste Grad der Verwandtschaft bei *Schwerspath* und *Cölestin* stattfindet, und daß sich der *Bleivitriol* ihnen zunächst anschließt. Für diese drei Sulfate ist es charakteristisch, daß die Flächen B' , B , D' , D , und BB'_2 bei ihren Formen eine Hauptrolle spielen. Bei allen kommen ziemlich dieselben abnormen Verlängerungen und Verkürzungen in verschiedenen Richtungen vor. Nur in Ansehung des Blätterdurchganges findet der Unterschied statt, daß dieser bei *Schwerspath* und *Cölestin* vollkommen nach den Flächen B und D' , weniger vollkommen nach A und B' ist, wogegen der *Bleivitriol* nur unvollkommene Blätterdurchgänge nach B und D' , und Spuren nach A besitzt. Der *Karstenit* zeigt nur in einigen Combinationen, namentlich in den hier zuerst beschriebenen, Aehnlichkeit mit den Formen jener drei Sulfate; in anderen Combinationen weicht er von dem Habitus der Krystallformen aller in obiger Zusammenstellung angeführten Sulfate ab. Die Lage seiner Blätterdurchgänge stimmt mit der des *Schwerspaths* und *Cölestins* überein; darin liegt

aber ein Unterschied, daß nicht bloß nach B , wie bei diesen Sulfaten, sondern auch nach B' ein ausgezeichneter Blätterdurchgang sich findet; wogegen von dem Blätterdurchgange nach D , der bei Schwerspath und Cölestin vollkommen ist, bei dem Karstenite nur Spuren wahrgenommen werden.

Schwerspath, Cölestin, Bleivitriol und Karstenit haben die Eigenschaft mit einander gemein, daß Zwillingsbildungen bei ihnen fehlen. Der Habitus der Krystallisationen des *Glaserits* und *Thenardits* weicht von dem der übrigen hier betrachteten Sulfate sehr ab, indem er sich weit mehr gewissen Formen der orthorhombischen Carbonate anschließt. Diese Analogie erscheint besonders in dem Vorherrschenden pyramidalen Combinationen, und zumal bei dem *Glaserit*, in dem Auftreten des sechsseitigen Prisma 2B. 4E. Da die Basiswinkel sich von 120° und 60° nicht bedeutend entfernen, so nähert sich das sechsseitige Prisma des *Glaserits* einem regulären sehr, in welcher Hinsicht es den analogen Prismen der orthorhombischen Carbonate vorgeht. Das Verhältniß unter den Hauptaxen hat auch auf die pyramidalen Combinationen den Einfluß, daß bei ihnen Formen vorkommen, die sich Bipyramidalododecaëdern nähern. Eine besondere Uebereinstimmung in dem Charakter der Krystallisationen des *Glaserits* und der orthorhombischen Carbonate findet auch in der Hinsicht statt, daß bei jenem Sulfate Zwillingskrystalle vorkommen, bei welchen die Zusammensetzung den Flächen E entspricht, welches Gesetz der Zwillingsbildung bei den orthorhombischen Carbonaten ebenfalls das herrschende ist. Auch in Ansehung des Blätterdurchganges neigen *Glaserit* und *Thenardit* mehr zur Bildung der orthorhombischen Carbonate, als zu der der orthorhombischen Sulfate hin. Was den Gesamthabitus der Krystallisationen der erstern betrifft, so haben diese das häufige Vorkommen der Flächen B und D mit dem Schwerspath, Cölestin und Bleivitriol gemein; dagegen aber fehlen bei jenen die bei diesen sehr gewöhnlichen Flächen BB'_2 , welche durch die Flächen E

vertreten werden, die bei dem Schwerspath selten sich finden, bei Cölestin und Bleivitriol meines Wissens noch nicht beobachtet wurden. Aufser dem sechsseitigen Prisma 2 B. 4 E., mit welchem eine sehr gewöhnliche Verlängerung in der Richtung der Hauptaxe zusammenhängt, ertheilen die primären, nebst anderen Flächen der besonders entwickelten Makrodiagonalzone, den Krystallisationentypus der orthorhombischen Carbonate einen Charakter, der von dem der Formencomplexe des Schwerspaths, Cölestins und Bleivitriols bedeutend abweicht, und in einigen Combinationen zu den Formen monotrimetrischer Systemen hinneigt. Zu den besonderen Eigenthümlichkeiten jener Carbonate gehört ihre große Tendenz zur Zwillingsbildung, bei welcher, wie überhaupt in ihren Formen, die Flächen *E* eine Hauptrolle spielen. Die Bedeutung derselben giebt sich auch dadurch kund, daß Blätterdurchgänge, und bei den mehrsten gerade die deutlichsten, nach ihnen sich richten. Unter den orthorhombischen Sulfaten finden sich nur bei dem Glaserit und Thenardit Blätterdurchgänge in der Richtung der Flächen *E*. Den Blätterdurchgang nach *B* haben, wenngleich nur in geringer Deutlichkeit, die orthorhombischen Carbonate mit den mehrsten homöomorphischen Sulfaten gemein. Die Bildung der ersteren entfernt sich übrigens auch dadurch von der des Schwerspaths, Cölestins, Bleispaths und Karstenits, daß ihre Blätterdurchgänge, abgesehen von ihrer zum Theil abweichenden Lage, von geringer Vollkommenheit sind. Das System des *Kalialpeters* hat im gesammten Habitus, sowie auch in der Richtung der unvollkommenen Blätterdurchgänge nach Flächen *B* und *E*, größte Aehnlichkeit mit den Formen der orthorhombischen Carbonate.

Aus diesen Betrachtungen geht nun als allgemeines Resultat hervor, daß die Mineralsubstanzen, welche den Gegenstand derselben ausmachen, hinsichtlich des Gesamthabitus der Krystallisationen zwei Hauptgruppen bilden, von welchen die eine den Schwerspath, den Cölestin und den Bleivitriol, die andere sämmtliche orthorhombische Carbo-

nate nebst dem Kalisalpeter begreift. Zwischen diesen Hauptgruppen stehen Karstenit, Thenardit und Glaserit gewissermaßen in der Mitte, indem der erstere mit einigen Formen dem Schwerspath, Cölestin und Bleivitriol sich anschließt, und auch hinsichtlich des Blätterdurchganges sich diesen Sulfaten nähert, wogegen Thenardit und Glaserit, zumal der letztere, im Charakter der krystallinischen Bildung eine nähere Verwandtschaft mit den orthorhombischen Carbonaten und dem Kalisalpeter zeigt.

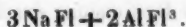
VI. Einige Notizen über das Krystallsystem des Chioliths; von N. v. Kokscharow,

Kapitain des Berg-Ingenieurs-Corps in St. Petersburg.

Die HH. Auerbach und Herrmann entdeckten auf ihrer Reise im Uralgebirge, im Jahre 1845, in der Umgebung der Miasker Hütte, ein neues Mineral von schneeweißer Farbe, das dem Kryolith aus Grönland sehr ähnlich ist. Die Entdecker gaben dem Minerale den Namen *Chiolith*.

Der Chiolith kommt mit Topas, Phenakit, Flussspath, Quarz und dem in großen Krystallen auftretenden Feldspath von grüner Farbe zusammen auf einem Fundort vor.

Die erste Analyse des Chioliths wurde von Herrmann ¹⁾ ausgeführt, der folgende Formel aufstellte:



Hr. Chodnew ²⁾ leitete aus seiner Analyse eine von der vorigen abweichende Formel ab:



1) Journal für pract. Chem. Bd. XXXVII, S. 188.

2) Verhandlungen der K. Russisch. mineral. Gesell. zu St. Petersburg 1845—1846, p. 216.

Später wies Hr. Professor Rammelsberg ¹⁾ nach, daß an einem und demselben Fundorte in der Umgegend der Miasker Hütte zwei verschiedene, obgleich dem Aeußern nach vollkommen ähnliche Minerale vorkommen. Von diesen Mineralien entspricht das eine, dessen specifisches Gewicht in Pulverform gleich 2,842—2,898 ist, der Formel des Hrn. Herrmann, das andere von 3,003—3,077 specifischen Gewichts der von Hrn. Chodnew aufgestellten Formel.

Neuerdings fand man zugleich mit diesen beiden Mineralien, noch ein drittes, welches den beiden ersten sehr ähnlich ist und nach drei verticalen Richtungen deutlichen Blätterdurchgang zeigt. In großen Stücken ist es durchscheinend und dünne Blätter desselben sind halbdurchsichtig. Die Farbe desselben ist graulichweiss. Nach einer von Hrn. Durnew unter der Leitung des Hrn. Jewreinow, im Laboratorium des Departements des Berg- und Salinenwesens ²⁾ ausgeführten Analyse, besteht dasselbe aus:

Aluminium	13,41
Natrium	32,31
Fluor	53,48
Calcium	0,25
Eisen- und Magan-Oxyde	0,55
	<u>100,00.</u>

Diese Zahlen geben folgende Formel:



woraus folgt, daß das neue Mineral nichts Anderes als Kryolith ist. Das specifische Gewicht des russischen Kryoliths beträgt nach der Bestimmung des Hrn. Durnew 2,95, nach meiner 2,962.

Ueber das Krystallsystem dieser drei Mineralien, die an einem Fundorte vorkommen, ja die sogar oftmals in einem Handstück vereinigt sind, ist fast gar nichts bekannt und ich halte es daher für nicht überflüssig, die von mir bei

1) Pogg. Ann. 1849 Bd. LXXIV, S. 314.

2) Russisches Bergjournal von 1850, No. 2.

der Untersuchung eines kleinen Krystalls erhaltenen Resultate, dem Publicum zu übergeben.

Der von mir untersuchte Krystall war aus einer, einem Schneeklumpen nicht unähnlichen Masse geschlagen, die aus einer Anzahl kleiner, durchsichtiger und farbloser Krystalle bestand. Obgleich die Flächen der meisten Krystalle dieses Aggregats vollkommen glänzten, so waren sie doch so klein und unregelmäßig, und boten wegen ihrer vollkommenen Durchsichtigkeit einen so unvortheilhaften Lichtreflex dar, daß es Schwierigkeiten hatte, dieselben mittelst einer Lupe zu untersuchen. An einigen Stellen gehen die Krystalle allmählig in die weißse dichte Grundmasse über, welche in diesem Falle einen rechtwinkligen, ziemlich deutlichen Blätterdurchgang aufweist. Ich bestimmte das spezifische Gewicht der krystallinischen Masse des Aggregats so wie das der krystallinischen Körner, welche ich erhielt, indem ich das Mineral so lange zerkleinerte, bis es in ein krystallinisches Pulver zerfiel. Auf diese Weise ergab sich das spezifische Gewicht

eines aus kleinen Krystallen bestehenden Stücks	2,670
des krystallinischen Pulvers dieses Stücks . . .	2,900
eines dichten Stücks des Aggregats	2,750

Nach Herrmann ist das spezifische Gewicht des Chioliths $= 2,72$. Hr. Rammelsberg bestimmte das spezifische Gewicht des zerkleinerten Minerals des Hrn. Herrmann, wie schon oben bemerkt wurde, zu 2,898, eine Zahl, die der von mir für das krystallinische Pulver gefundenen sehr nahe kommt. Es scheint daher, daß man das von mir untersuchte Mineral, für das von Hrn. Herrmann analysirte ansehen muß, für welches er die Formel

$3\text{NaFl} + 2\text{AlFl}^3$ giebt.

Der freie Krystall hat im Durchmesser einen Millimeter. Er besitzt die Form eines Quadratoctaëders $o = (a:b:b)$, an dessen Polecken 4 Flächen eines Quadratoctaëders zweiter Ordnung $n = (ma:b:\infty b)$, Fig. 18 und 19 Taf. II. aufgesetzt sind. Diese Zuspitzungsflächen sind gewölbt,

und es konnten daher die von ihnen gebildeten Winkel nicht gemessen werden. Es ist auch möglich, daß diese Flächen einem Diocäeder angehören, dessen normale Polkanten sehr stumpf sind (Fig. 19.) Da aber der Krystall unvollkommen ausgebildet war, so konnten seine Winkel mit dem Reflexionsgoniometer nur annäherungsweise bestimmt werden. Es gelang mir, die Neigungswinkel der Flächen in allen 4 Polkanten (an der oberen Fläche des Krystalls) und in einer der Seitenkanten zu bestimmen. Folgendes sind die erhaltenen Resultate:

Die Neigungswinkel in zwei benachbarten Polkanten, sowohl in der einen, als auch in der anderen:

$$X = 107^{\circ} 32' \text{ (das Mittel aus 18 Bestimmungen) } ^1).$$

Die Neigungswinkel in der Mittelkante:

$$Z = 113^{\circ} 25' - 30.$$

Wenn wir die Haupt- oder Verticalaxe durch a bezeichnen, und die Seitenaxen durch b , so scheint es mir am geeignetsten für den Chiolith folgendes Axenverhältniß aufzustellen:

$$a : b : b = 1,077 : 1 : 1.$$

Aus diesem Verhältniß läßt sich berechnen:

$$X = 107^{\circ} 31' 50''$$

$$Z = 113^{\circ} 25' 30''$$

folglich Größen, die den, durch unmittelbare Messung gefundenen, sehr nahe stehen.

Zu meinem Leidwesen war es mir unmöglich, außer dem angeführten Krystall, noch andere zu erhalten, um sie mit einander vergleichen zu können. Es geht daraus hervor, daß ich einen Schluss über das Krystallsystem des Chioliths nach Messungen an einem nicht vollkommen ausgebildeten Krystalle gemacht habe. Meine Ansicht muß mit um so größerer Vorsicht aufgenommen werden, als die

- 1) Die Flächen der beiden anderen Polkanten waren sehr unvollkommen und spiegelten schlecht, daher ich denn auch auf die erhaltenen Resultate keine Rücksicht nehmen konnte; ich erhielt gegen $108^{\circ} 7'$ in einer Kante, und gegen $107^{\circ} 40'$ in der andern.

kleinen undeutlichen Krystalle, aus denen die Aggregate des Chioliths zusammengesetzt sind, dem Aeußern nach eher ein prismatisches, als pyramidales Ansehen haben. Diese letzteren Krystalle führen eine Menge Flächen, die alle zu einer Zone gehören, und stets einen Winkel von $113^{\circ} 20'$ bis $30'$ bilden. An einem solchen Krystalle maß ich mit dem Reflexionsgoniometer annäherungsweise die Neigungswinkel dreier angränzenden, in einer Zone liegenden Flächen, die ich durch x , y und z bezeichnen werde. Für dieselben fand ich folgende Werthe:

$$x:y = 113^{\circ} 20'$$

$$y:z = 135^{\circ} 45'$$

$$x:z = 69^{\circ} 10' \quad (\text{aus } x:y:z \text{ folgt,}$$

dafs $x:y = 60^{\circ} 45'$).

Die HH. Auerbach und Herrmann nehmen an, dafs Chiolith einen deutlichen Blätterdurchgang unter 114° habe. Mir bot sich keine Gelegenheit dar, einen solchen Blätterdurchgang zu beobachten; der Winkel 114° erinnert aber an die Neigungswinkel der Seitenkanten $= 113^{\circ} 25' 30''$.

VII. *Ueber die Zusammensetzung des Meteorsteins von Stannern; von C. Rammelsberg.*

Zu der durch die Abwesenheit regulinischer Eisenverbindungen charakterisirten Klasse von Meteorsteinen gehören die in großer Zahl (200 bis 300) am 22. Mai 1808 bei Stannern in Mähren gefallenen Aërolithen. Sie sind zwar schon früher durch Moser, Klaproth¹⁾ und v. Holger²⁾ analysirt worden, jedoch nur als Ganze, ohne Rücksicht auf die sie zusammensetzenden Mineralkörper. Die große Aehnlichkeit mit dem Stein von Juvenas, der

1) Beiträge, Bd. 5 S. 251

2) Baumgartner's Ztschrft. Bd. 2 S. 293.

sich nach meinen Versuchen ¹⁾ als ein Gemenge von Augit und Anorthit darstellt, veranlafte mich zu einer ähnlichen Prüfung des Steins von Stannern, deren Resultate folgende sind:

Der feingepulverte Stein wurde mit mäfsig concentrirter Chlorwasserstoffsäure digerirt, wobei sich ein Theil der Silicate zersetzte, und zugleich eine Spur Schwefelwasserstoffgas in Folge beigemengten Schwefeleisens frei wurde, dessen Menge jedoch nur unbedeutend ist. Die abgeschiedene Kieselsäure wurde von dem unzersetzten Theil durch Kochen mit einer Auflösung von kohlen-saurem und ätzen-dem Kali getrennt, und der letztere sowohl mit kohlen-sau-rem Natron als auch mit Fluorwasserstoffsäure zerlegt.

A. Zersetzbarer Theil 34,98 Proc.

B. Unzersetzbarer " 65,02 "

A.		B.	
		a. mit kohlen- Natron.	b. mit Fluor- wasserstoffs.
Kieselsäure	46,19	49,44	
Thonerde	31,26	2,97	2,31
Eisenoxyd	2,93	Oxydul } 28,68	28,31
Manganoxydul			1,25
Kalkerde	16,98	8,39	8,00
Talkerde	1,12	10,31	9,64
Natron	1,14		0,35
Kali	0,50		0,10
Chromeisen		1,34	0,32
	100,12.		

Das Mittel von a und b ist:

Kieselsäure	49,44
Thonerde	2,64
Eisenoxydul	28,31
Manganoxydul	1,25
Kalkerde	8,20
Talkerde	9,97
Natron	0,35
Kali	0,10
Chromeisen	0,83

101,09.

1) Diese Ann. Bd. 73. S. 585.

Der Sauerstoffgehalt der Bestandtheile ist hiernach:

	A.	B.
Kieselerde	24,00	25,69
Thonerde	14,60	1,23
Eisenoxyd	0,88	
	15,48	
		Oxydul 6,28
		Manganoxydul 0,28
Kalkerde	4,83	12,98
Talkerde	0,45	
Natron	0,29	
Kali	0,08	
	5,65	

In *A* verhält sich mithin der Sauerstoff von R, R̄ und Kieselsäure = 0,94 : 2,58 : 4 = 1 : 2,74 : 4,25, so dafs man wohl berechtigt ist anzunehmen, das durch Säure zersetz-
bare Silicat sey auch hier *Anorthit*, während für *B* sich das Sauerstoffverhältnifs von 1 : 2, d. h. die Zusammen-
setzung des *Augits* ergibt.

Der Meteorstein von Stannern wäre mithin dem von Juvenas ganz gleich, selbst was die relativen Mengen sei-
ner Gemengtheile (im Verhältnifs von 1 : 2) betrifft, und
seine Gesamtmischung ergibt sich nach dem Obigen:

Kieselsäure	48,30
Thonerde	12,65
Eisenoxydul	19,32
Manganoxydul	0,81
Kalkerde	11,27
Talkerde	6,87
Natron	0,62
Kali	0,23
Chrom Eisen	0,54
Schwefeleisen	Spur
	100,61.

VIII. *Ueber die bei Schwetz aufgefundenene Meteor-eisenmasse; von Gustav Rose.*

Im Frühjahr 1850 wurde bei dem Abtragen eines sandigen Hügels für die Ostbahn auf dem linken Ufer des Schwarzwassers bei Schwetz an der Weichsel eine Eisenmasse etwa 4 Fufs unter der Erdoberfläche an der Gränze des oberen Sandes mit dem darunter liegenden Lehm gefunden. Die Eisenmasse war etwas klüftig, und es konnte ohne Mühe ein kleiner Theil abgelöst werden, welcher um sich zu überzeugen, dafs derselbe Eisen sey, zu einem vierkantigen Stabe ausgeschmiedet wurde. Der Rest wurde im Baubüreau zu Schwetz abgeliefert, hier in zwei Theile gespalten, wobei eine zweite Kluft benutzt wurde, und der eine Theil der Königl. Direction nach Bromberg gesandt. Hier sah ihn Hr. Baurath Knoblauch, der bei den Bauten der Ostbahn beschäftigt war, und überzeugt, dafs diese Masse Meteoreisen sey, setzte er mich nach seiner Rückkehr im Januar d. J. von dem Funde in Kenntniss, was mich veranlafste, sogleich an den Vorsitzenden der Direction der Ostbahn, Hrn. Geh. Regierungs-Rath Wernich zu schreiben, um die Eisenmasse für die Königliche Mineraliensammlung zu erhalten. Letzterer hatte auch die Güte, sofort das in Bromberg befindliche Stück, was inzwischen mit der Säge in 2 Theile zerschnitten war, zu schicken, und da sich bei der Ansicht desselben sogleich ergab, dafs dasselbe Meteoreisen sey, auf Hrn. Geh. Berg-raths Weifs und meine Bitte, auch den Rest der ursprünglichen Eisenmasse, das noch in Schwetz gebliebene Stück so wie den ausgeschmiedeten Theil zu senden. Dieser Sendung fügte Hr. Wernich noch ein Schreiben des Eisenbahn-Baumeisters Grubitz zu Koslowo bei Schwetz bei, an den sich ersterer um nähere Auskunft über die Auffindung der Eisenmasse zu erhalten, gewandt hatte, aus welchem die oben mitgetheilten Notizen entnommen sind.

Das grössere, und die mit der Säge getrennten Stücke passen vollkommen aufeinander, und zeigen so zusammengelegt noch die ursprüngliche Gestalt der Eisenmasse, die ungefähr die eines geraden rechteckigen an den Kanten ganz abgerundeten Prismas ist. Man kann in diesem Fall noch den Raum erkennen, wo das ausgeschmiedete Stück wahrscheinlich gesessen hat, so daß auch die Form es wahrscheinlich macht, daß die Stücke zusammen die ganze ursprüngliche Masse ausmachen. Die Höhe des Prismas beträgt etwa 9 Zoll Preuss., die Seiten der Basis $5\frac{1}{2}$ und 4 Zoll, der Umfang der Länge nach 24 Zoll, der Breite nach $17\frac{1}{2}$ Zoll. Die Kluft, welche die Stücke durchsetzte, ging ungefähr parallel einer Ebene, die durch die diagonal gegenüberliegenden längeren Kanten der Basis gelegt werden kann. Das Gewicht der durch die Säge getrennten Stücke beträgt 10 Pfund $29\frac{1}{2}$ Loth und 6 Pfund 25 Loth, das große Stück wiegt 23 Pfund 20 Loth, das ausgeschmiedete Stück 1 Pfund $29\frac{3}{4}$ Loth, so daß hiernach das Gewicht der ganzen Masse 43 Pfund $8\frac{1}{4}$ Loth betragen hat. Die äußeren Seiten der Stücke sind abgerundet und mit Eisenoxydhydrat bedeckt, aber auch die inneren Seiten sind, da sie alte Kluftflächen waren, oxydirt, dennoch zeigten sie stellenweise einen hakigen Bruch, indem sie beim Auffinden des Stücks noch zusammengehalten hatten.

Aus dem Stücke von 23 Pf. 20 Loth ist nun eine einen halben Zoll dicke Platte herausgeschnitten worden, deren eine Fläche nachdem sie glatt geschliffen worden war, mit dem von Elsner für Aetzungen im Stahl empfohlenen Aetzmittel ¹⁾ geätzt wurde, wodurch die Widmannstätten'schen Figuren sehr schön zum Vorschein kamen. Der diesem Hefte beigelegte Abdruck des so geätzten Meteoreisens giebt ein vollkommen naturgetreues Bild dieser Figuren.

Bei dem Aetzen dieser Platte, wie auch anderer von der Masse abgeschnittener Stücke entwickelte sich ein Geruch von Schwefelwasserstoff, der von eingemengten Körnern von Schwefeleisen herrührte. Von einem solchen

1) Vergl. Erdmann und Marchand Journ. f. pr. Chem. Bd. XII. S. 304.

rührt auch der schwarze Streifen in der Mitte des Abdruckes her, nicht aber der feinere unter ihm am Rande, der nur die Folge einer Verletzung der Platte ist. Einen Nickelgehalt der Masse selbst ergaben schon einige von mir angestellte chemische Versuche; die genauere Zusammensetzung wird aber die Analyse darthun, welche Prof. Rammelsberg anzustellen übernommen hat.

IX. *Cyanstickstoff-Titan aus Nassau;*
von F. Sandberger.

Vor Kurzem theilte mir Hr. Inspector Münster, auf der Hohenreiner Hütte bei Lahnstein, Stücke des Bodensteins aus der 1850^{er} Campagne mit, um sie näher zu untersuchen.

Dieselben enthielten neben einem an Silicium sehr reichen Roheisen stellenweise gröfsere und kleinere krystallinische Parthien einer kupferrothen metallischen Substanz, in welcher ich sogleich das sogenannte gediegene Titan vermuthete; welches nach Wöhler's neuster Untersuchung Cyanstickstoff-Titan ist. Eine chemische Untersuchung stellte diese Vermuthung bald aufser Zweifel. Die Form der übrigens sehr seltenen Krystalle, ebenso wie die physikalischen Eigenschaften der Substanz, stimmten vollständig mit dem Resultate dieser Untersuchung überein. Es waren in der gedachten Schmelzcampagne Rotheisenstein aus unseren ausgezeichneten Lagen im Schalstein und zwar mit Holzkohlen verschmolzen worden.

X. *Nachtrag zur Abhandlung über den Einfluss des Wassers bei chemischen Zersetzungen.*

(S. Annal. Bd. 83, S. 417).

Bei der Ausarbeitung des Aufsatzes: »Ueber das Verhalten des Wassers gegen Kohlensäure in kohlensauen Salzen« ist mir die Abhandlung von Marchand und Scheerer »Ueber das chemische Aequivalent des Magnesiums« in Bd. 50, S. 385 des Journals für praktische Chemie entgangen. In derselben werden die Angaben von Svanberg einer Kritik unterworfen, und das Atomgewicht des Magnesiums zu 150,19 festgestellt. Diese Bestimmung beruht vorzüglich auf Versuchen mit dem Magnesit von Frankenstein in Schlesien (welcher derselbe wie der von Baumgarten ist). Die Verfasser fanden, daß derselbe schon bei 170° eine höchst geringe Menge von Kohlensäure verliert, und nach dem heftigsten Glühen aber auch noch eine ebenfalls sehr geringe Menge derselben zurück behält.

H. Rose.

XI. *Ueber die Mittel, die Beschaffenheit der Flüssigkeitsadern zu beobachten;*
von Hrn. Billet-Sélis.

(Ann. de chimie et de phys. T. XXXI, p. 326.)

Im Moment, wo die sinnreiche Abhandlung des Hrn. Plateau in den *Ann. de chim. et de phys. T. XXX, p. 203* ¹⁾ das Interesse an Savart's schönen Untersuchungen über den Ausfluß der Flüssigkeiten nur noch erhöht, werden die Leser dieser Zeitschrift es vielleicht mir Dank wissen, wenn ich ihnen ein einfaches Mittel kennen lehre, wodurch man die Beschaffenheit der Ader direct sehen und durch Projection einem ganzen Auditorium auf einmal zeigen kann. Das Mittel ist so einfach, daß es mich nicht überraschen

1) S. Ann. Bd. 82, S. 387.

sollte, zu erfahren, es hätten andere Physiker dasselbe gleichfalls angewandt.

Um diese Beschaffenheit zu entdecken hat Savart bekanntlich eine große experimentelle Geschicklichkeit entwickelt. Seine Methode besteht darin, daß er mit der sich bewegenden Ader einen Körper combinirt, der gleiche, aber entgegengesetzte Bewegung, und eine wo möglich ähnliche Discontinuität wie die Ader besitzt; daraus entsteht eine ruhende Erscheinung, deren rein geometrische Beziehung zu den beiden sie erzeugenden Phänomenen bekannt ist.

Ich benutze, um die Ader selbst zu sehen, eine Scheibe, die radial eine schmale Spalte besitzt und mit großer Schnelligkeit rotirt. Man gewahrt deutlich sowohl die großen Tropfen und die kleinen dazwischen, als auch die Anschwellungen, welche, indem sie längs dem klaren Theil hinabgleiten, die Ankunft der vereinzelter Tropfen vorbereiten. Um sie zu projiciren benutze ich das gewöhnliche Verfahren. Jenseits der durch einen Streifen Sonnenlicht stark beleuchteten Ader stelle ich, im Abstand f , eine achromatische Linse auf, und jenseits dieser Linse in dem Abstand f' , der dem ersten conjugirt ist, einen Schirm. Somit erhalte ich ein reelles Bild der Ader, das zwar undeutlicher und verworrener als sie selbst ist, aber sogleich scharf wird und die Tropfen wie die ringförmigen Anschwellungen zeigt, so wie man die rotirende Scheibe einschaltet; nur hat der sonach projicirte Theil der Ader eine geringe Höhe, und um nach einander alle Theile derselben zu sehen, muß man dem Gefäß, aus welchem das Wasser fließt, längs einem senkrechten Ständer verschiedene Stellungen geben.

Die Savart'sche Methode ist nicht allgemein, oder vielmehr führt sie zu sehr verwickelten Auslegungen, wenn die Discontinuität des bekannten Körpers sich von der unbekannten des Körpers, den man studirt, zu sehr entfernt. Sie führte in seinen Händen nur zum Ziel, weil er sich über die gesuchte Beschaffenheit im Voraus einige Data hatte verschaffen können, die ihm bei der Construction des beweglichen Bandes leiteten. Man kann sie wirksamer machen, wenn man sich durch folgenden Kunstgriff, als beweglichen Hülfskörper einen Körper verschafft, der dem studirten genau ähnlich ist, sowohl in der Gestalt, als in der Discontinuität und Geschwindigkeit.

Läßt man die Ader vor einem großen Hohlspiegel, et-

was jenseits seines Krümmungscentrum, herabfließen, so erhält man etwas diesseits dieses Centrum ein reelles Bild der Ader, welches sich aufwärts bewegt. Leicht läßt das Auge sich so stellen, daß das eine auf das andere projicirt sey. Man kann sogar, wenn man die Ader im Centrum herabfließen läßt, eine strenge Ueberdeckung der wahren Ader und ihres Bildes erreichen; zwar findet diese Ueberdeckung zwischen den über dem Centrum befindlichen Theilen der Ader und den unter dem Centrum befindlichen Theilen des Bildes statt, allein die Veränderung in der Discontinuität der Ader ist nicht so rasch, daß dadurch ein merklicher Beschaffenheits-Unterschied zwischen so nahe liegenden Theilen bewirkt wird. Man befindet sich also im einfachsten Fall dieser Art von Erscheinungen, demjenigen zweier Räder, welche eine gleiche Anzahl æquidistanter Speichen besitzen und mit gleichen, aber entgegengesetzten Geschwindigkeiten begabt sind.

Wir bringen die Ader so weit von der Lichtquelle (*porte lumière*), daß das von ihrer Linse gelieferte kegelförmige Bündel eine gewisse Höhe der Ader beleuchtet, und es gelingt dann, im Dunklen unbewegliche Tropfen deutlich zu sehen.

Wir wiederholen den Versuch mit zwei Rädern, welcher sowohl der Savart'schen als der so eben beschriebenen vervollkommeneten Methode zum Grunde liegt, mit einem einzigen Kronrade, deren beide Hälften für ein richtig gestelltes Auge sich auf einander projiciren und vollkommen gleiche, aber entgegengesetzte Geschwindigkeiten haben. Es ist mein Assistent, der diese Art, ein unbewegliches Rad zu erlangen, bei Ausübung seines Gewerbes, der Uhrmacherkunst, aufgefunden hat. Unser Kronrad ist einfach eine dünne Holzscheibe, an deren Umfang, senkrecht gegen ihre Ebene, acht weiße Pappstreifen in gleichen Abständen mit etwas Wachs befestigt sind. Dreht man das Rad vor einem sehr hellen Grunde, z. B. vor weißen Wolken, so nimmt das weiße unbewegliche Rad, bei gewissen geringen Geschwindigkeiten, jene grünlichen und röthlichen Farbentöne an, die schon von andern Beobachtern unter ähnlichen Umständen bemerkt worden sind.

Endlich wollen wir noch sagen, daß man das Phänomen der beiden Räder noch einfacher erhält, wenn man zwei Federschäfte lebhaft gegen einander reibt, vor einem schwarzen oder weißen Grunde, je nachdem sie weiß oder

schwarz sind. Man erblickt einen unbeweglichen, im ersten Falle schwarzen, im letzten Falle weissen Schaft. Ist die Bewegung rasch, so scheint der unbewegliche Schaft als Diagonale eingeschlossen zu seyn in ein ebenfalls unbewegliches Vierseit, das aber entgegengesetzter Art ist, d. h. weifs, wenn die Diagonale schwarz ist, und schwarz, wenn diese weifs ist.

XII. Elektrische Erscheinung.

(Aus einem Briefe des Hrn. Prof. Marx.)

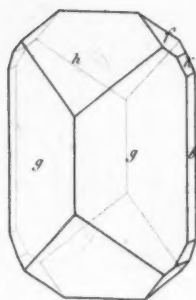
— Wenn man zwischen den gläsernen Stöpsel einer Flasche mit weitem Hals und die Glaswand etwas Wasser (oder auch eine andere Flüssigkeit) bringt, und dann den Stöpsel rasch herumdreht, so bemerkt man im Dunklen ein phosphorisches Licht. Bei vielfach abgeänderten Versuchen mit Stöpseln von bedeutender Stärke erhielt ich oft ein blitzähnliches Aufleuchten. Vielleicht ist das Phänomen rein elektrischer Natur, herrührend aus der Reibung der Flüssigkeit an der Glaswand. Dann würde es einen einfachen Beleg zu der Erklärung der hydroelektrischen Maschine von Armstrong abgeben, deren gewaltige Wirkung nach Faraday nur auf der Reibung des feinvertheilten Wassers an den Ausströmungsöffnungen beruht.

Braunschweig, den 11. Mai 1851.

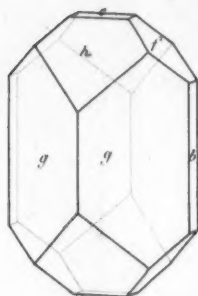
er-
Ist
aft
an-
ist,
rz,

er
ser
en
en
er-
oft
en
ler
fa-
ne
ch
ers

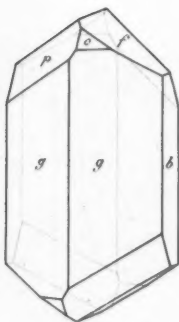
1.



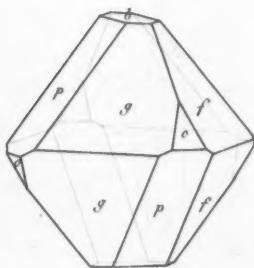
2.



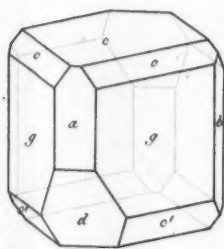
5.



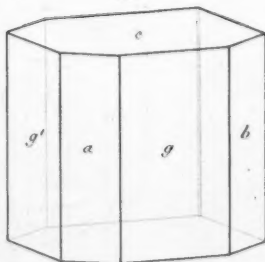
6.



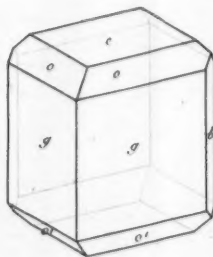
7.

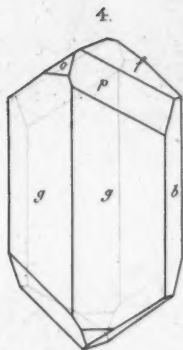
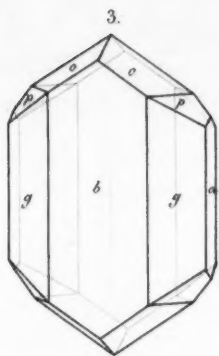


10.

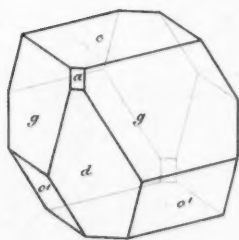


11.

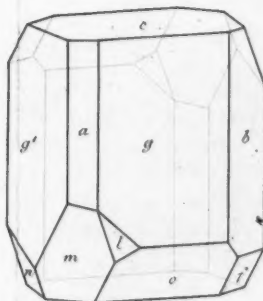




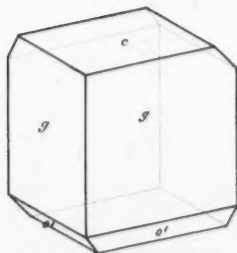
8.



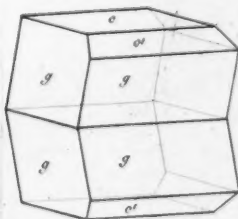
9.

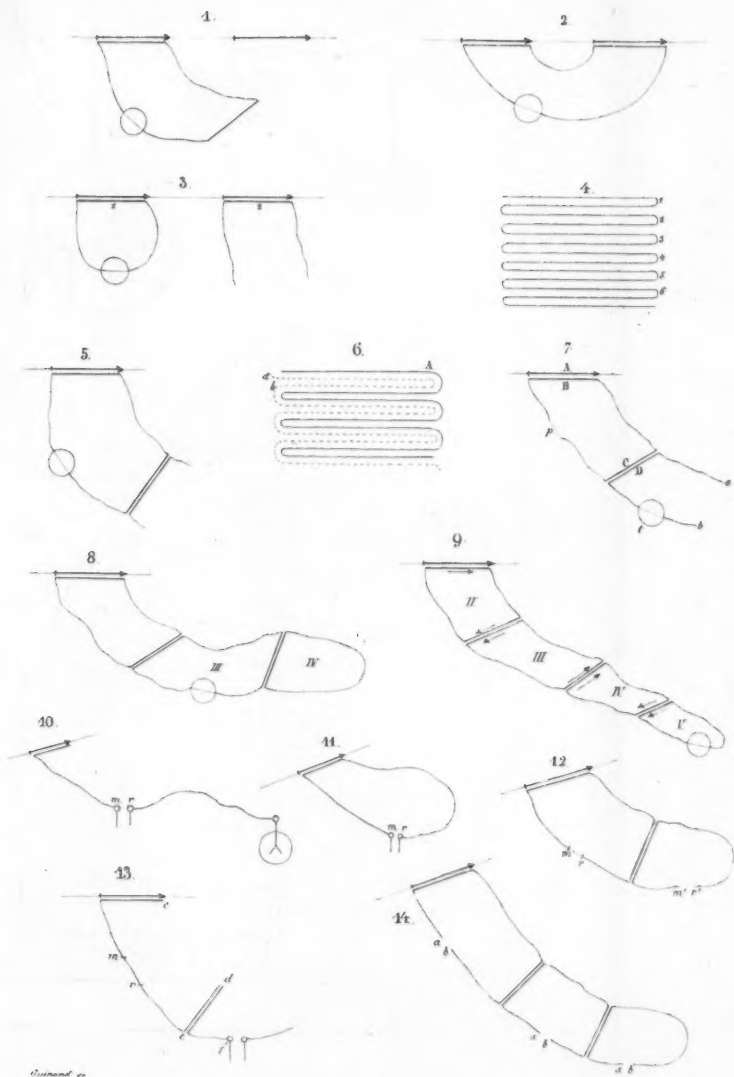


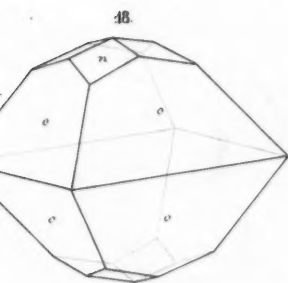
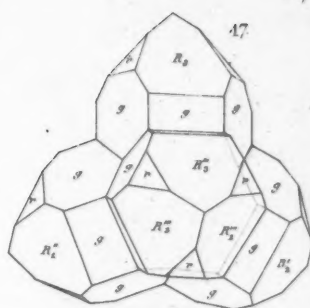
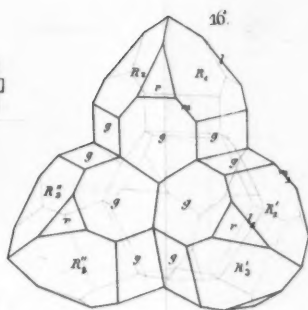
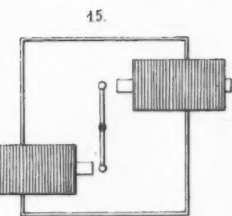
12.

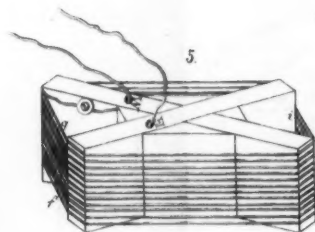
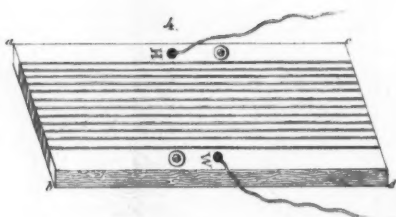
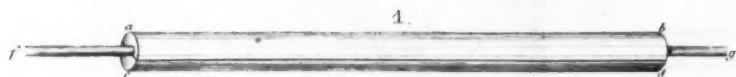


13.









Guinand & Co

